

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Crnčević

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Tatjana Haramina, dipl. ing.

Student:

Luka Crnčević

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorici Izv. prof. dr. sc. Tatjani Haramini na nesebičnoj pomoći i savjetima pri izradi ovog rada.

Želio bih se zahvaliti i laborantu Božidaru Bušetinčanu na pomoći prilikom izrade eksperimentalnog dijela rada.

Posebno se zahvaljujem Prof. dr. sc. Anku Antabaku, studentici Luciji Bradić i ostalim studentima Medicinskog fakulteta na pripremi uzoraka i ustupljenoj literaturi.

Luka Crnčević



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Crnčević**

Mat. br.: 0035188725

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mehanička svojstva ortopedskih gipseva**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Mechanical properties of orthopedic casts**

Opis zadatka:

Lomovi kostiju zahtijevaju imobilizaciju. Za imobilizaciju se mogu koristiti gipsani zavoji koji se sastoje od pamučne gaze i medicinskog gipsa koji se po omatanju namoče vodom. Pri tome nastaje slojeviti kompozit kojemu je matrica medicinski gips, a ojačalo pamučna gaza. Proces očvršćivanja gipsa je egzoterman, a oslobođena toplina može dovesti do nastanka opekotina na koži. Svojstva nastalog gipsa ovise o temperaturi vode.

U radu je potrebno ispitati svojstva kompozita izrađenih od gipsanih zavoja triju proizvođača za ploče izrađene od 10 i od 15 slojeva gipsanih zavoja, s vodom iz vodovoda temperature 22 °C i 34 °C.

Materijali:

Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka

Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija

Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Rok predaje rada:

1. rok: 25. veljače 2016.

2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.

3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.

2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.

3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

T. Haramina

Izv. prof. dr. Tatjana Haramina

Predsjednik Povjerenstva:

ZK

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
2. KOMPOZITI	2
2.1. Slojeviti kompoziti	3
2.2. Gipsani kompozit	4
3. EGZOTERMNA REAKCIJA PRI OČVRŠĆIVANJU GIPSA	5
4. MATERIJALI.....	7
4.1. Medicinski gips	7
4.2. Postupak sadrenja.....	9
5. EKSPERIMENTALNI DIO	12
5.1. Izrada gipsanog kompozita	13
5.2. Mjerenje vlažnosti.....	14
5.3. Mjerenje promjene površinske temperature tijekom sadrenja	16
5.4. Određivanje savojnog modula elastičnosti i savojne čvrstoće.....	19
6. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA.....	23
6.1. Usporedba promjene temperatura sadrenja triju proizvođača.....	23
6.2. Savojna svojstva.....	26
6.2.1. Ispitivanje sadrenih pločica izrađenih od 10 slojeva sadrenog zavoja pri temperaturi vode od 22 °C	26
6.2.1.1. Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka.....	26
6.2.1.2. Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija	28
6.2.1.3. Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska.....	30
6.2.2. Ispitivanje sadrenih pločica izrađenih od 15 slojeva sadrenog zavoja pri temperaturi vode od 34 °C	32
6.2.2.1. Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka.....	32
6.2.2.2. Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija	34
6.2.2.3. Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska.....	36
6.3. Usporedba proizvođača prema savojnim svojstvima.....	38
6.3.1. Usporedba proizvođača prema modulu elastičnosti.....	38
6.3.2. Usporedba proizvođača prema savojnoj čvrstoći.....	39
7. ZAKLJUČAK.....	40
LITERATURA.....	41

POPIS SLIKA

Slika 1. Raspored matrice i ojačala u kompozitu [2]	2
Slika 2. Slojeviti kompozit (laminat) [2].....	3
Slika 3. Ojačalo i matrica gipsanog kompozita [3]	4
Slika 4. Kalcij-sulfat dihidrat [14].....	7
Slika 5. Sadreni zavoj [15]	7
Slika 6. Klasični zavoj [16]	8
Slika 7. Plastični zavoj [16].....	8
Slika 8. Cirkularna gipsana imobilizacija [15]	9
Slika 9. Potapanje sadrenog zavoja [16]	10
Slika 10. Modeliranje gipsa [16]	10
Slika 11. Priprema sadrenih zavoja Safix plus, veličina 10x10 cm [22].....	13
Slika 12. Mjerenje vlažnosti sadrene pločice [22]	14
Slika 13. Tijek sušenja sadrenih pločica [22].....	15
Slika 14. Mjerenje površinske temperature [12]	16
Slika 15. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Safix plus za 10, 15 i 30 slojeva [12]	17
Slika 16. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Cellona za 10, 15 i 30 slojeva [12]	18
Slika 17. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Gipsan za 10, 15 i 30 slojeva [12]	18
Slika 18. Univerzalna kidalica	19
Slika 19. Metoda savijanja u tri točke	19
Slika 20. Početni ispitni uzorci [12]	22
Slika 21. Mjerenje dimenzija ispitnih epruveta.....	22
Slika 22. Maksimalne prosječne temperature pločica	23
Slika 23. Temperature nakon 20 minuta od sadrenja	24
Slika 24. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva.	26
Slika 25. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva.	27
Slika 26. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva	28
Slika 27. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva	29
Slika 28. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva	30
Slika 29. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva	31
Slika 30. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (1, 2, 3 i 4) slaganih u 15 slojeva	32
Slika 31. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (5 i 6) slaganih u 15 slojeva.....	33
Slika 32. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 15 slojeva	34
Slika 33. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 15 slojeva	35
Slika 34. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 15 slojeva	36
Slika 35. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (4, 5, 6 i 7) slaganih u 15 slojeva .	37
Slika 36. Usporedba savojnog modula elastičnosti E_s s obzirom na temperaturu vode	38
Slika 37. Usporedba savojne čvrstoće R_{ms} s obzirom na temperaturu vode.....	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalna svojstva ispitnih materijala.....	14
Tablica 2. Savojna svojstva Safix plus epruveta izrađenih od 10 slojeva.....	27
Tablica 3. Savojna svojstva Cellona epruveta izrađenih od 10 slojeva	29
Tablica 4. Savojna svojstva Gipsan epruveta izrađenih od 10 slojeva.....	31
Tablica 5. Savojna svojstva Safix plus epruveta izrađenih od 15 slojeva.....	33
Tablica 6. Savojna svojstva Cellona epruveta izrađenih od 15 slojeva	35
Tablica 7. Savojna svojstva Gipsan epruveta izrađenih od 15 slojeva.....	37

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
b	mm	širina epruvete
E_s	MPa	savojni modul elastičnosti
f	mm	progib
F_{max}	N	maksimalna sila opterećenja
h	mm	debljina epruvete
L	mm	razmak između oslonaca
m	kg	masa
R_{ms}	MPa	savojna čvrstoća
t	s	vrijeme
ϑ	°C	temperatura
V	mm ³	volumen
ε	mm/mm	istezanje
σ	MPa	naprezanje
ρ	g/cm ³	gustoća

SAŽETAK

Gipsani zavoji često se koriste za imobilizaciju dijelova tijela. Prilikom njihovog namakanja u vodi dolazi do egzotermne reakcije pri kojoj se oslobađa toplina koja može dovesti do nastanka opekotina na koži. Nakon omatanja zavoja i namakanja vodom nastaje slojeviti kompozit kojemu je matrica medicinski gips, a ojačalo pamučna mrežasta gaza.

U ovom radu su ispitana mehanička svojstva gipsanih zavoja od tri različita proizvođača: Safix plus (Hartman, Njemačka), Cellona (Lohman Rauscher, Austria) i Gipsan (Ivo Lola Ribar d.o.o., Hrvatska). Zavoji su načinjeni od 10 i 15 slojeva pri različitim temperaturama sadrenja. Ispitivanjem na savijanje određen je savojni modul elastičnosti i savojna čvrstoća. Također je ispitana promjena temperature sadrenja tijekom očvršćivanja gipsanog zavoja.

Nakon provedenih ispitivanja i obrade rezultata doneseni su zaključci o utjecaju temperature sadrenja i debljine slojeva na mehanička svojstva gipsanih zavoja od triju različitih proizvođača.

Ključne riječi: Gips, sadra, egzotermna reakcija, modul elastičnosti, savojna čvrstoća

SUMMARY

Orthopedic plaster casts are often used to immobilize some parts of the human body. While they are soaked in water, an exothermic reaction occurs and heat is released that can cause skin burns. After wrapping and soaking the plaster, a new layerd composite is made whose matrix is medical plaster and its reinforcement is mesh gauze made of cotton.

In this thesis, mechanical properties of orthopedic plaster casts are tested from three different manufacturers: Safix plus (Hartman, Germany), Cellona (Lohman Rauscher, Austria) and Gipsan (Ivo Lola Ribar d.o.o., Croatia). Plasters are made of 10 and 15 layers at different temperatures of casting. By performing a bending test, the flexural modulus and the flexural strength are determined. Also, the temperature change of casting is tested during the curing of orthopedic plaster casts.

After performing the tests and processing the results, conclusions about the effect of temperature of casting and thickness of layers on mechanical properties of orthopedic plaster casts from three different manufacturers have been made.

Key words: Gypsum, orthopedic plaster cast, exothermic reaction, flexural modulus, flexural strength

1. UVOD

Zdravstvene ustanove u Republici Hrvatskoj za imobilizaciju prijeloma koriste sadrene (gipsane) zavoje više različitih proizvođača. U pravilu svi su deklarirani kao brzo vezujući, sličnih karakteristika, no međusobno se razlikuju fizikalnim svojstvima. Sadreni zavoji trebaju omogućiti lako modeliranje u različite oblike bez toplinskih i alergijskih učinaka na koži. Svojstva sadrenih zavoja, treba dobro poznavati jer razlike u masi, gustoći i brzini sušenja pojedinog proizvoda mogu bitno izmijeniti postupak izrade imobilizacijske udlage. Krutost (modul elastičnosti) i čvrstoća (svojna čvrstoća) izrađenih sadrenih pripravaka izravno određuju funkcionalnost načinjene sadrene imobilizacije [1].

Fizikalna svojstva sadrenih zavoja bitan su čimbenik u ostvarenju osnovne funkcije sadrenih imobilizacija (zadržavanje ulomaka kosti u pravilnom položaju), a time izravno utječu na brzinu i kvalitetu cijeljenja prijeloma.

Ovisnost svojstava, modula i čvrstoće, o broju sadrenih slojeva, temperaturi vode sadrenja i brzini sušenja do sada nije bio poznat našoj stručnoj medicinskoj zajednici. Ta kliničarima važna svojstva proizvođači sadrenih zavoja nemaju obavezu precizno deklarirati na svom proizvodu, pa upravo zbog toga je došlo do ovakvog istraživanja.

2. KOMPOZITI

Kompozitni materijali ili kompoziti su proizvedeni umjetnim spajanjem dvaju ili više materijala različitih svojstava s jasnom granicom između njih. Posljedica je dobivanje materijala takvih svojstava kakva ne posjeduje niti jedna komponenta sama za sebe [2].

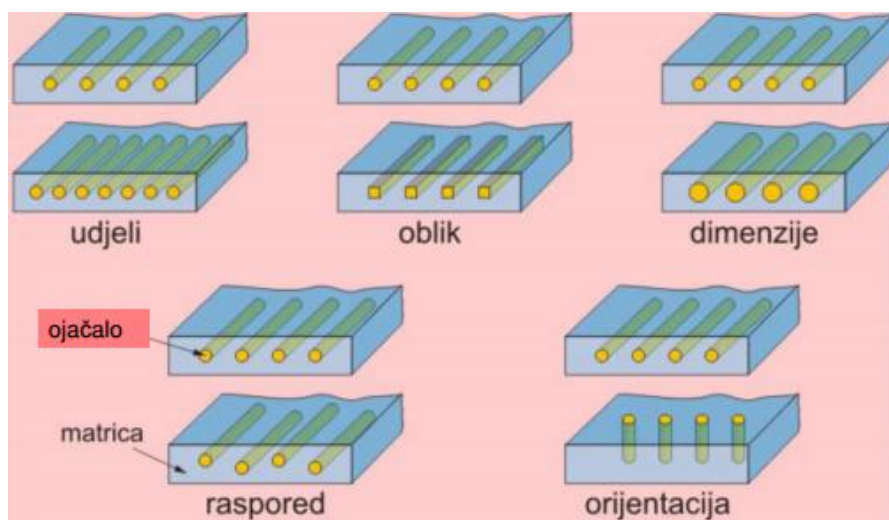
Kompoziti se sastoje od dva osnovna konstituenta, a to su matrica i ojačalo. Na slici 1. prikazani su različiti odnosi i raspored osnovnih konstituenata u kompozitu.

Zadaća ojačala je da budu nosivi element kompozita, tj. da osiguraju:

- Visoku čvrstoću
- Visoki modul elastičnosti (krutost)
- Otpornost na trošenje

Uloga matrice u kompozitu je da :

- Povezuje ojačala
- Štiti ojačala od vanjskih utjecaja
- Prenosi opterećenje na ojačala
- Formira vanjski oblik kompozitne konstrukcije



Slika 1. Raspored matrice i ojačala u kompozitu [2]

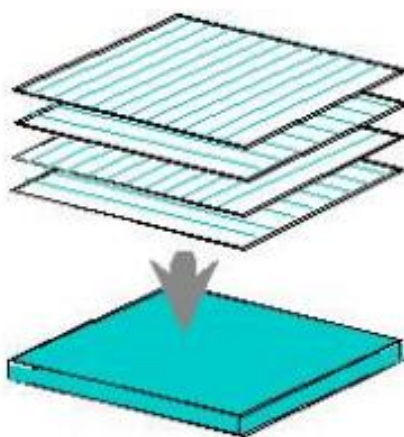
Svojstva kompozita ovisiti će o:

- Udjelu i raspodjeli konstituenata
- Svojstvima konstituenata tj. matrice i ojačala
- Volumnom udjelu konstituenata
- Obliku konstituenata
- Prirodi i jakosti veza između konstituenata

2.1. Slojeviti kompoziti

Slojevite konstrukcije odnosno slojeviti kompoziti ili laminati sastavljeni su od dvodimenzionalnih slojeva s preferiranim smjerom visoke čvrstoće (drvo, ili usmjerenim vlaknima ojačanih polimernih materijala). Slojevi su složeni i dodatno međusobno čvrsto povezani, a svojstva variraju obzirom na orijentaciju vlakana u pojedinim slojevima (zbog toga se slojevi slažu različito usmjereni) [2].

Slojevite kompozite dijelimo na laminate i sendvič konstrukcije. Gipsani kompoziti izrađeni u eksperimentalnom dijelu rada pripadaju laminatima.



Slika 2. Slojeviti kompozit (laminat) [2]

2.2. Gipsani kompozit

Gipsani kompoziti su laminati kojima je matrica medicinski gips, a ojačalo pamučna mrežasta gaza. Medicinski gips je posebnim postupkom nanesen na pamučnu mrežastu gazu. Kompozit se može slagati u željeni broj slojeva. Na slici 3 prikazan je gipsani kompozit s jasnom razlikom između matrice i ojačala.



Slika 3. Ojačalo i matrica gipsanog kompozita [3]

Ovakva vrsta kompozita ne koristi se u strojarstvu i nije specifična u tehnici, ali ipak se radi o slojevitom kompozitu.

3. EGZOTERMNA REAKCIJA PRI OČVRŠĆIVANJU GIPSA

Egzotermna reakcija sadrenja je toplinska reakcija pri očvršćivanju gipsa u kojoj dolazi do oslobađanja topline. Egzotermna reakcija sadrenja je iznimno važno svojstvo sadrenih zavoja. Potapanjem sadrenih zavoja u vodu pokrene se burna kemijska egzotermna reakcija vezivanja kalcijevih molekula uz oslobađanje veće količine toplinske energije. Sadreni zavoji koriste se za imobilizaciju u obliku cirkularnih gipseva i longeta prilikom prijeloma kosti kod djece i odraslih. Tijekom postupka sadrenja povišena temperatura sadrene imobilizacije može dovesti do toplinskih ozljeda. Stupanj opeklinskog oštećenja ovisi o temperaturi i vremenu izloženosti. Pri temperaturi višoj od 44 °C bjelančevine počinju denaturirati što uzrokuje oštećenje stanica i tkiva [4]. Ljudska koža trpi temperaturu od 49 °C, do 4 minute, a potom nastaje epidermoliza [5]. Opeklina pune debljine kože (trajne posljedice) mogu nastati kao posljedica temperature od 50 °C tokom 5-15 minuta [6][7]. Ozljede toplinskom energijom tijekom sadrenja češće nastaju kod starijih ljudi i djeca. Koža im je tanja a reakcija na ozljedu sporija (niži prag površinskog osjeta) [8]. Toplinske komplikacija sadrenja direktno utječu na tijek, duljinu i kvalitetu liječenja prijeloma. Sadreni zavoji trebaju omogućiti lako modeliranje u različite oblike bez toplinskih i alergijskih učinaka na koži. Kliničari su u nedoumici koliko slojeva kojeg sadrenog zavoja treba postaviti da ostvare stabilnost, a egzotermna reakcija ostane niske razine. Više je važnih čimbenika, pored vrste i debljine sadrenih zavoja, koji značajnu mijenjaju tijek i intenzitet egzotermne reakcije sadrenja. Među najvažnijima je temperatura vode u koju se potapaju sadreni zavoji.

Više je vrsta tvorničkih pripravaka sadrenih zavoja. Razlikuju se u fizikalnim svojstvima, ali i trajanju i intenzitetu egzotermne reakcije. U praksi se najčešće koriste brzo vezujući sadreni zavoji kojima je tvornički deklarirano vrijeme stvrdnjavanja od 3 do 5 minuta, ali intenzitet egzotermne reakcije nije deklariran.

Sadra je male gustoće i čvrstoće, stoga tek veća masa osigurava i veću krutost sadrene imobilizacije. U praksi se sadreni zavoji postavljaju u desetak i više slojeva, pa su debljine tako načinjenih imobilizacija i veće od 1 cm. Što je više slojeva sadrenog zavoja, toplinska reakcija je intenzivnija [9]. Tvornice sadrenih zavoja teže proizvodu niske egzotermne reakcije, ujedno dostatnoj čvrstoći imobilizacije u što manje slojeva sadrenog zavoja.

Sadrenje u toplijoj vodi, dovodi do bržeg stvrdnjavanja, ali i veće čvrstoće u vrijeme potpune suhoće imobilizacijskog materijala [10]. No tada je egzotermna reakcija burnija, a kada temperatura prelazi 30 °C povećava se opasnost od toplinskih ozljeda [11]. Temperatura vode u kojoj se sadreni zavoj potopi, preporuka je proizvođača. Najčešće se kreće između 20-25 °C [12]. U našoj literaturi nema dostupnih podataka o egzotermnim reakcijama sadrenih zavoja koji su dostupni na našem tržištu.

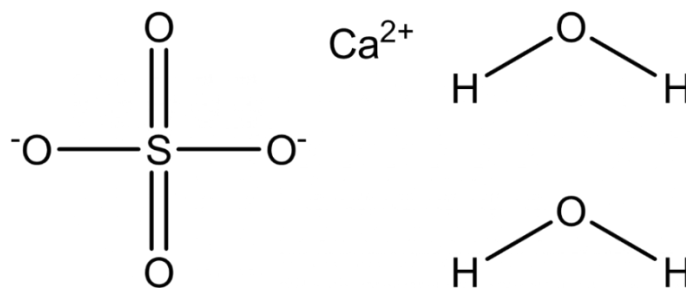
Korištenje sadrenih zavoja za izradu sadrenih imobilizacija zahtijeva vještinu modeliranja i znanje očekivane razine egzotermne reakcije. U praksi se koristi brzo vezujući sadreni zavoj većinom u desetak i više slojeva, čime se ostvaruje dostatna čvrstoća sadrenih imobilizacija. Povećanjem broja slojeva sadre povećava se masa, a nakon sušenja i čvrstoća imobilizacija. Pri većem broju slojeva kemijska egzotermna reakcija je burnija, oslobađa se veća količina toplinske energije pa raste temperatura sadrene imobilizacije. Taj porast temperature kroz desetak minuta sadrenja može uzrokovati toplinsku ozljedu kože. Na razinu egzotermne reakcije i vrijednostima temperature sadrenja gipsane imobilizacija utječu brojni čimbenici. Prije svega ovisi o svojstvu materijala sadrenog zavoja od kojega se modelira imobilizacija, broju slojeva sadrenog zavoja, temperaturi prostorijske i temperaturi vode sadrenja.

Preporuka je kako bi se svaki novi sadreni zavoj trebao potapati u čistu vodu temperature manje od 25 °C. Ako se voda mijenja jednom dnevno ostatci sadre ranijim potapanjima mijenjaju kvalitetu kemijske reakcije vezivanja kalcijevih molekula i produžuju trajanje egzotermne reakcije. Ta je voda u pravilu sobne temperature, niža je od preporučene, što mijenja reakciju sadrenja. Sadrenjem vodom više temperature dolazi do burnije reakcije sadrenja, gips se brže stvrdnjava i suši, krajnja čvrstoća je veća, a imobilizacija je zadovoljavajuće krutosti. Istraživanja pokazuju da tek voda temperature veće od 40 °C dovodi do potencijalnih opekotina. Broj slojeva sadrenog zavoja mijenja intenzitet egzotermne reakcije. U praksi za imobilizaciju gornjih ekstremiteta koristi se oko 10 slojeva, a kod imobilizacije donjih ekstremiteta oko 15 slojeva [12].

4. MATERIJALI

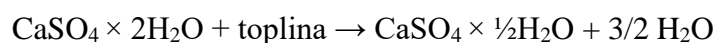
4.1. Medicinski gips

Sadra ili gips je mineral koji spada u skupinu sulfata tj. soli sumporne kiseline koje su često zastupljene u zemljinoj kori [13]. Kemijski naziv gipsa je kalcij-sulfat dihidrat ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) prikazan na slici 4.



Slika 4. Kalcij-sulfat dihidrat [14]

Male je tvrdoće i čvrstoće, a gustoća mu je oko $2,4 \text{ g/cm}^3$. Njegovim držanjem pri temperaturi od 130°C - 160°C kada mu se kristalna struktura i nastaje poluhidrat ($\text{CaSO}_4 \times \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) prema jednažbi [13]:



Daljnjim zagrijavanjem poluhidrat izgubi svu vodu i nastane anhidrit koji je topljiv u vodi. Nanesen na pamučnu mrežastu podlogu, anhidrit daje sadreni zavoj (slika 5).



Slika 5. Sadreni zavoj [15]

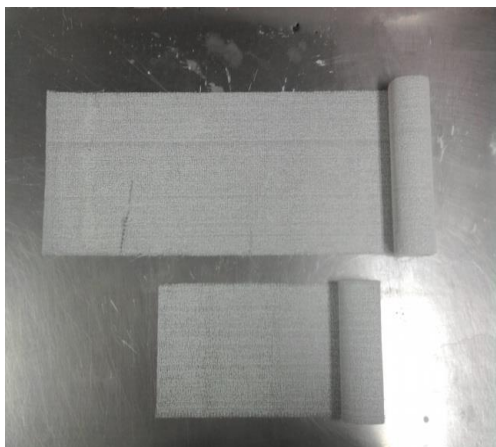
S obzirom na materijal izrade zavoja razlikujemo klasične (slika 6) i plastične zavoje (slika 7).

1. SVOJSTVA KLASIČNIH ZAVOJA:

- Nije toksičan i alergogen
- Lako se postavlja i modelira
- Lako se skida
- Jeftin je
- Nije vodootporan

2. SVOJSTVA PLASTIČNIH ZAVOJA:

- Nije toksičan i alergogen
- Teško se postavlja i skida
- Vodootporan je
- Lakši je i čvršći od klasičnog
- Skup je



Slika 6. Klasični zavoj [16]



Slika 7. Plastični zavoj [16]

U Hrvatskoj se gotovo bez izuzetka koriste klasični sadreni zavoji u cilju liječenja prijeloma kod djece i odraslih [12].

4.2. Postupak sadrenja

Postupkom sadrenja sadrenim zavojem oblikuju se longete ili cirkularne gipsane imobilizacije. Njima se može ostvariti dostatna višetjedna stabilizacija ulomaka prelomljenih kostiju, što je preduvjet za njihovo cijeljenje. Na slici 8 prikazana je cirkularna gipsana imobilizacija.



Slika 8. Cirkularna gipsana imobilizacija [15]

Za postizanje imobilizacijske funkcije, nužno je koristiti sadrene zavoje poznatih fizikalnih svojstava, kako bi s minimalnim brojem slojeva sadrenog zavoja ostvarili dostatnu krutost, odnosno čvrstoću imobilizacije [17]. Postupak sadrenja započinje potapanjem zavoja u vodu. Zavoj se potapa pod kutom od 45° sve dok nestanu mjehurići (slika 9). Sadreni zavoj postaje plastičan (dozvoljava modeliranje). Istovremeno se kemijskom egzotermnom reakcijom stvara toplinska energija koja može dovesti do toplinske ozljede kože. Kroz nekoliko desetaka minuta povezivanjem molekula kalcijevog sulfata gubi se svojstvo plastičnosti, a sadreni zavoj postaje čvrst. Vremenski period u kojemu je moguće sadreni zavoj modelirati ovisi o aditivima koji se dodaju sadri [18].



Slika 9. Potapanje sadrenog zavoja [16]

Modeliranje sadrene imobilizacije (slika 10) treba načiniti do početka vezivanja, odnosno kada gips počinje oslobađati toplinu. Tehnički gledano, većinu sadrenih imobilizacija može se načiniti od tri do pet minuta. Stoga su tvornički pripravci sadrenog materijala i priređeni tako da im je vrijeme modeliranja manje od 3 minute (ekstra brzo-vezujući), od 3 do 5 minuta (brzo vezujući), ili više od pet minuta (sporo vezujući). U praksi, najčešće se koriste brzo-vezujući sadreni zavoji različitih proizvođača, čije je vrijeme modeliranja od 3 do 5 minuta [18].



Slika 10. Modeliranje gipsa [16]

Neposredno nakon vremena vezivanja gips je male savojne čvrstoće i gotovo da nema krutosti, stoga se lako lomi, savija i puca. Sušenjem, kroz dan-dva povećava mu se krutost i postaje otporan na savijanje. Za brzo vezujući sadreni zavoj proizvođači navode kako se čvrstoća postiže već nakon 30 minuta, a suši se kroz 12-24 sata nakon sadrenja [19]. Čvrstoća i krutost sadrene imobilizacije prvenstveno ovise o broju slojeva sadrenog zavoja (količini sadre) i udjelu vlage u sadrenom materijalu koji čini imobilizaciju.

Ne manje bitna su fizikalna svojstva sadrenih zavoja određena tehnologijom proizvodnje, poput mase, gustoće, vremena vezivanja, intenziteta egzotermne reakcije sadrenja, brzine sušenja i krutosti suhe sadrene imobilizacije.

Postizanje otpornosti na savijanje sadrene imobilizacije ovisi i o postupku sadrenja. Tako temperatura vode u koju se potapa sadreni zavoj mijenja kemijsku reakciju vezivanja molekula kalcijeva sulfata [20]. Svaki proizvođač daje za preporuku temperaturu vode sadrenja za svoj proizvod u cilju postizanja optimalnih svojstava. Najčešće su to temperature 20 °C - 25 °C.

5. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedena su ispitivanja medicinskog gipsa od tri različita proizvođača. Eksperimentalni dio podijeljen je na dva dijela.

U prvom dijelu eksperimenta prikazan je tijek egzotermne reakcije i promjene fizikalnih svojstava kompozita izrađenih od gipsanih zavoja triju različitih proizvođača za ploče izrađene od 10, 15 i 30 slojeva gipsanih zavoja, s vodom iz vodovoda temperature 22 °C i 34 °C.

Drugi dio eksperimenta posvećen je ispitivanju mehaničkih svojstava, odnosno određivanju savojnog modula elastičnosti i savojne čvrstoće ploča izrađenih od identičnih materijala kao u prvom dijelu eksperimenta po 10 i 15 slojeva gipsanog zavoja, s vodom iz vodovoda temperature 22 °C i 34 °C.

Ispitni materijali :

- Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka
- Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija
- Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska

5.1. Izrada gipsanog kompozita

Eksperiment je proveden u ventiliranoj prostoriji regulirane vlage i temperature. Postupak izrade kompozita započinje izrezivanjem sadrenih zavoja na dimenzije 10x10 cm (slika 11).



Slika 11. Priprema sadrenih zavoja Safix plus, veličina 10x10 cm [22]

Nakon izrezivanja, provodi se postupak sadrenja gdje se zavoji kroz 3 sekunde potapaju u vodu, nakon toga se uklanja višak vode, te se slažu u željeni broj slojeva. Dolazi do egzotermne reakcije koja dovodi do porasta temperature zavoja. Za svako sadrenje pripremala se nova čista voda, kontrolirane temperature.

Izrađene su ploče od 10, 15 i 30 slojeva. Za izradu ploča od 10 slojeva koristila se voda iz vodovoda temperature 22 °C, za ploče od 15 slojeva voda temperature 34 °C i voda temperature 34 °C za ploče od 30 slojeva.

5.2. Mjerenje vlažnosti

Za mjerenje vlažnosti korišten je profesionalni mjerač vlage, Gann Hydromette Compact B, (Gann Mess-u. Regeltechnik GmbH, Gerlingen, Njemačka). Postupak mjerenja vlažnosti prikazan je na slici 12.



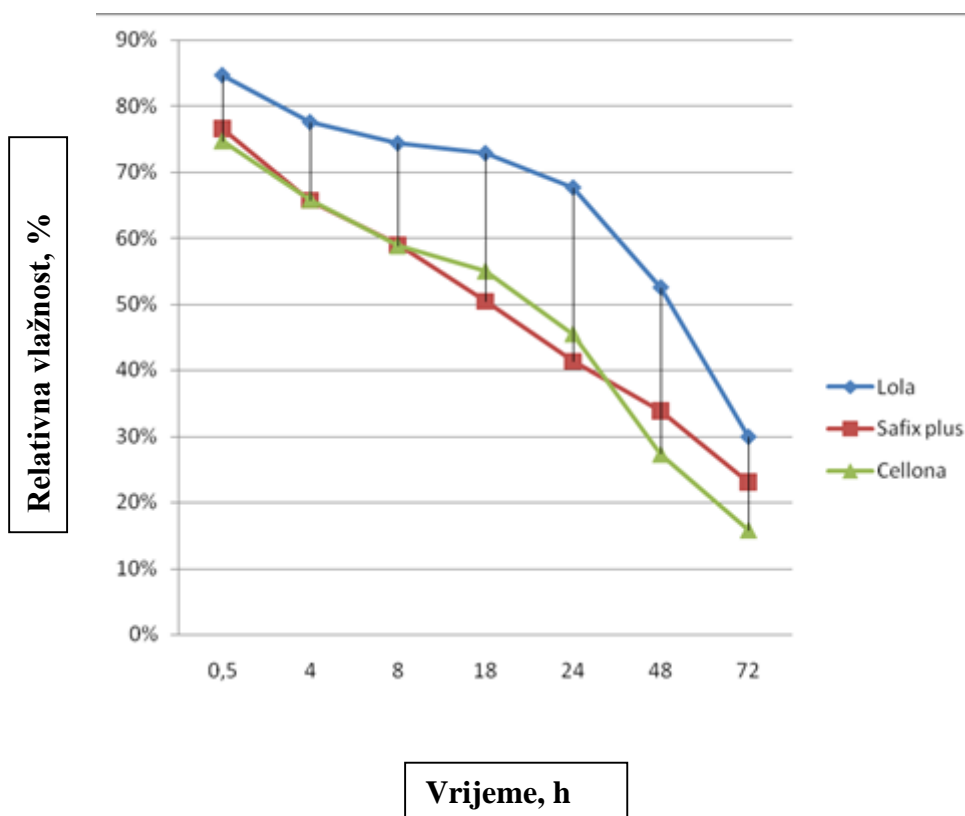
Slika 12. Mjerenje vlažnosti sadrene pločice [22]

Prikaz prosječnih vrijednosti mjerenja vlažnosti i gustoće prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Fizikalna svojstva ispitnih materijala

	Cellona	Gipsan	Safix
Prosječna gustoća originalnog pakiranja zavoja	0,52 g/cm ³	0,5 g/cm ³	0,38 g/cm ³
Prosječna gustoća 3 dana nakon sadrenja	1,15 g/cm ³	1,10 g/cm ³	1,00 g/cm ³
Prosječna vlažnost 3 dana nakon sadrenja	16 %	30 %	24 %

Mjerenje vlažnosti gipsanih kompozita započeto je 30 minuta nakon završne faze modeliranja gipsa, a vlažnost se dodatno mjerila nakon 4, 8, 18, 24, 48 i 72 sata. Najveću brzinu sušenja imao je sadreni zavoj Cellona, u prvih pola sata izgubio je 25% vlažnosti. Nakon 18 sati od sadrenja vlažnost je pala na 50%, a za tri dana vlažnost imobilizacije je bila tek 16 %. Sličan je tijek sušenja i pripravaka načinjenih od Safix plus sadrenog zavoja, koji se malo sporije sušio nakon 24 sata. Najlošije rezultate pokazao je Gipsan, koji je nakon pola sata zadržao 85% vlažnosti, nakon 18 sati 73%, nakon 48 sati 53%, te nakon 72 sata 30% vlažnosti. Deseti dan nakon sadrenja, a prije određivanja krutosti i čvrstoće, sadržaj vlage u svim pločicama bio je manji od 15 %. Promjena relativne vlažnosti u vremenu prikazana je na slici 13.



Slika 13. Tijek sušenja sadrenih pločica [22]

5.3. Mjerenje promjene površinske temperature tijekom sadrenja

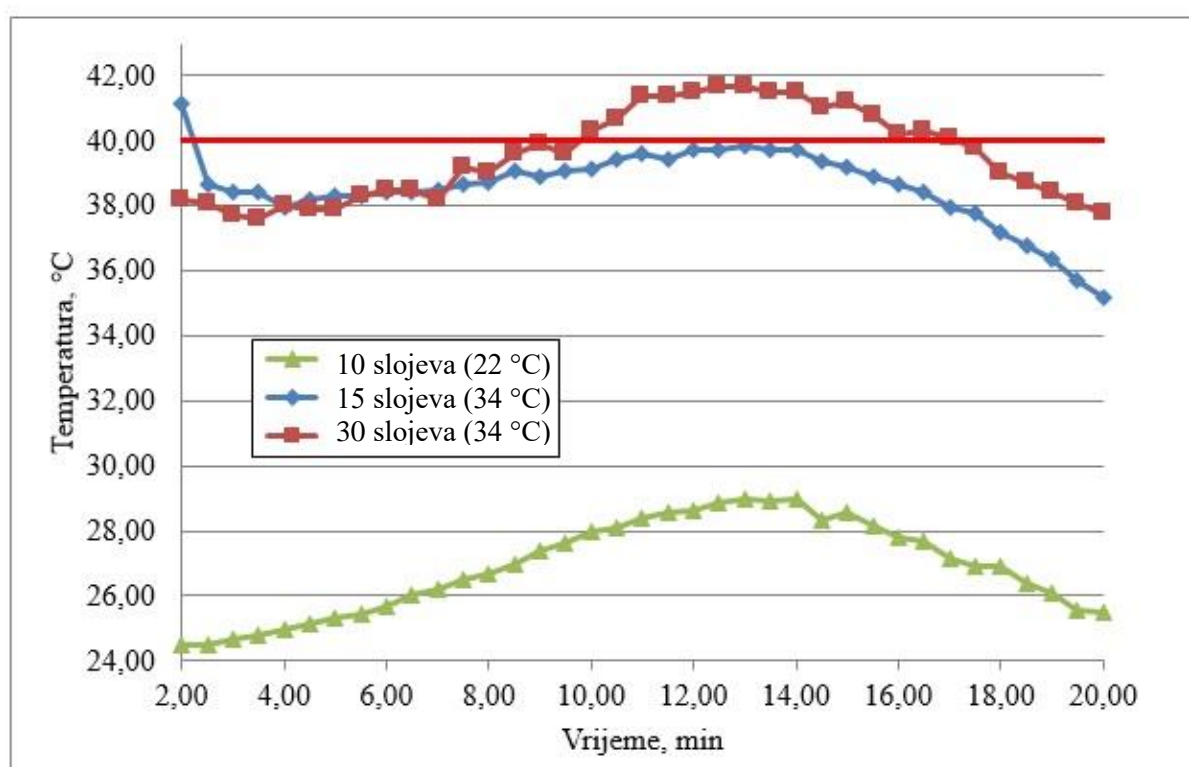
Mjerenje površinskih temperatura pločica započeto je u drugoj minuti nakon uranjanja sadrenog zavoja u vodu. Mjerenje temperature se provodilo svakih 30 sekundi u vremenskom periodu od 20 minuta. Temperatura na površini mjerena je s FS300 Non-Contact Infrared Thermometer, HuBDIC Co. Ltd, Anyang. Na slici 14 prikazan je postupak mjerenja površinske temperature. Od potapanja do početka mjerenja pripravak je modeliran radi ravnomjerne debljine i što homogenije popunjenosti slojeva.



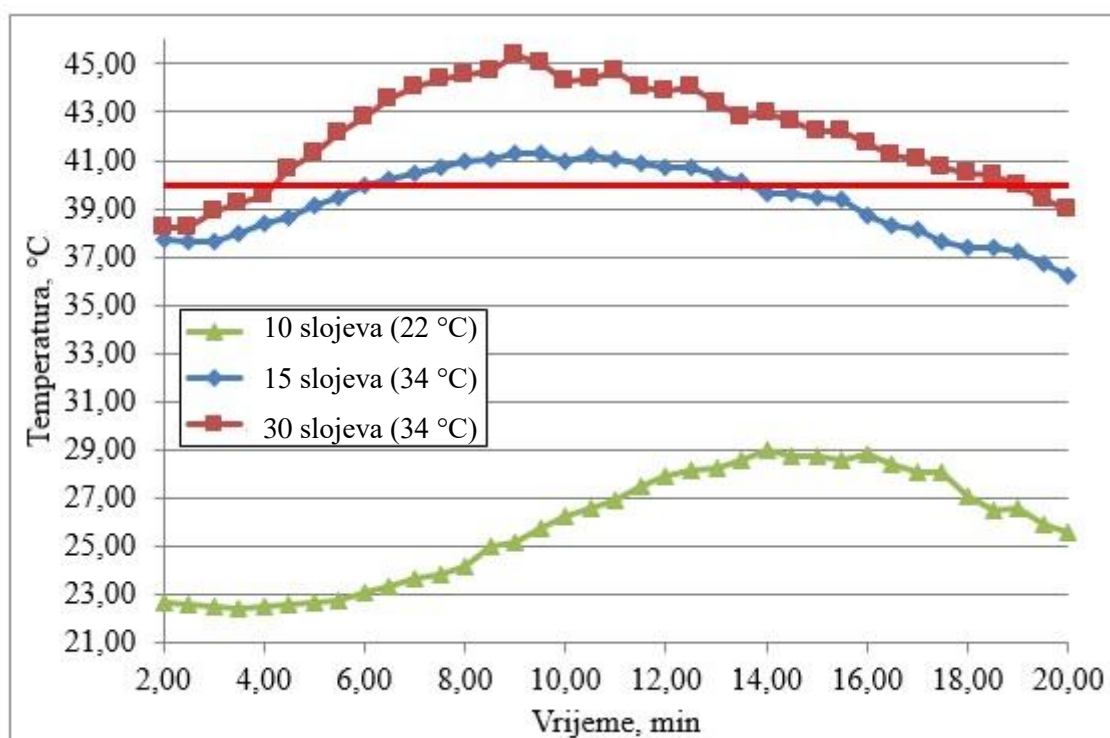
Slika 14. Mjerenje površinske temperature [12]

Kontrola vode i zraka mjerena je profesionalnom meteorološkom stanicom, ETH 880 Digital Thermo-Hygrometer, (Oregon Scientific, Inc. Hong Kong).

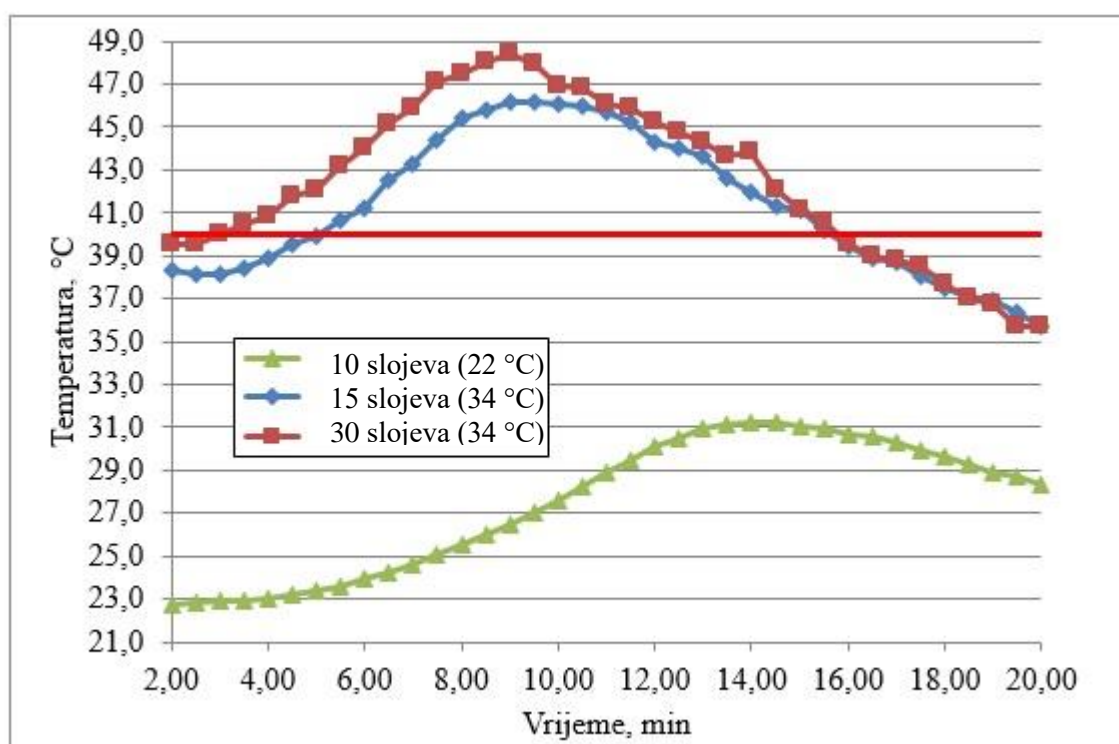
Mjerenje promjene temperature u ovisnosti o vremenu provedeno je na 108 sadrenih pločica. U dijagramima su prikazane promjene vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica triju proizvođača po 10, 15 i 30 slojeva. Slika 15 prikazuje tijek egzotermne reakcija Safix pločica, slika 16 tijekom egzotermne reakcije Cellona pločica te slika 17 tijekom egzotermne reakcije Gipsan pločica.



Slika 15. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Safix plus za 10, 15 i 30 slojeva
[12]



Slika 16. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Cellona za 10, 15 i 30 slojeva [12]



Slika 17. Vrijednosti srednjih temperatura sadrenih pločica Gipsan za 10, 15 i 30 slojeva [12]

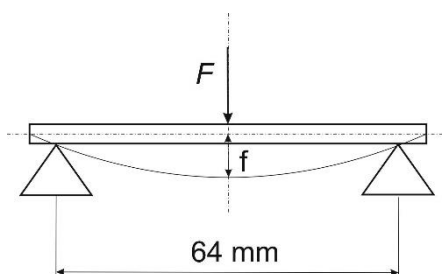
5.4. Određivanje savojnog modula elastičnosti i savojne čvrstoće

Ispitivanje je provedeno na univerzalnoj kidalici (ZMG VEB Thüringer Industriewerk, Rauenstein, Njemačka) mjernog područja od 0 do 4800 N. Kidalica je prikazana na slici 18.



Slika 18. Univerzalna kidalica

Na kidalici je provedeno ispitivanje metodom savijanja u tri točke gdje se ispitno tijelo postavlja na dva oslonca razmaka L , a potom se u sredini, na $L/2$, postepeno opterećuje silom okomito na ispitno tijelo (Slika 19).



Slika 19. Metoda savijanja u tri točke

Mjeri se sila F i progib f iz kojih se računa naprezanje i istežanje uz pomoć dimenzija ispitnih tijela i razmaka između oslonaca L . Mjerenje se provodi do konačnog pucanja epruvete pri maksimalnoj sili.

Naprezanje se računa prema izrazu:

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

gdje je :

σ - naprezanje

F - sila

L - razmak između oslonaca

b - širina epruvete

h - debljina epruvete

Istežanje se računa prema izrazu :

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot f \cdot h}{L^2}$$

gdje je:

f - progib

h - debljina epruvete

L - razmak između oslonaca

Svojna čvrstoća računa se prema izrazu :

$$R_{ms} = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

gdje je:

R_{ms} – savojna čvrstoća

F_{max} – maksimalna sila

L – razmak između oslonaca

b – širina epruvete

h – debljina epruvete

Savojni modul elastičnosti računa se prema izrazu:

$$E_s = \frac{dF}{df} \cdot \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot h^3}$$

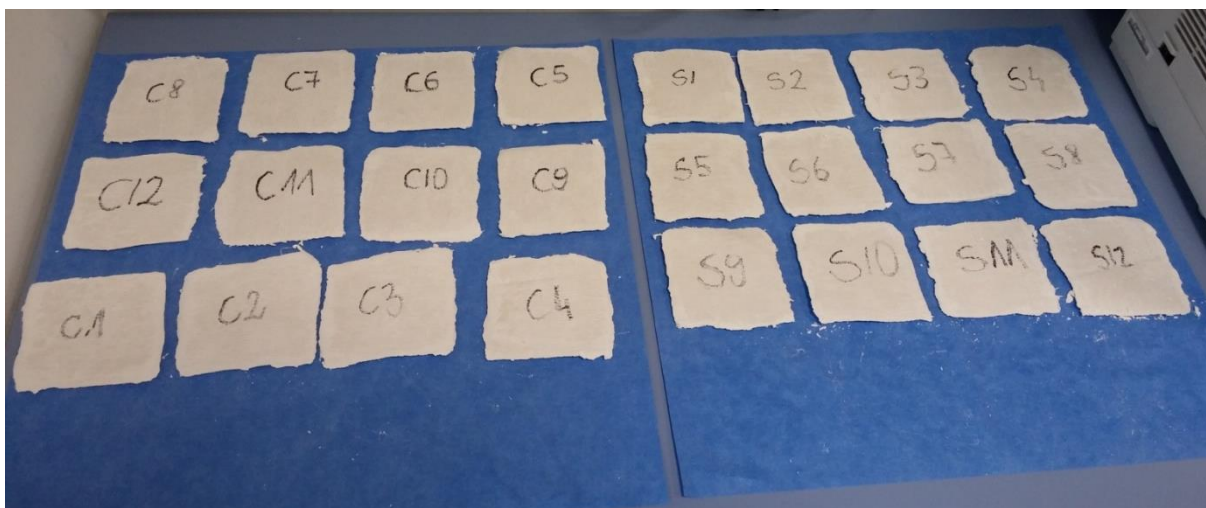
gdje je :

$$\frac{dF}{df} = tg\alpha$$

Modul elastičnosti također se može odrediti iz nagiba pravca linearnog područja epruvete u dijagramima naprezanje-istezanje.

Razmak između oslonaca L iznosi 64 mm, a određen je na temelju početnih dimenzija pločica. Relativno mala brzina ispitivanja (7 mm/min) odabrana je zbog krhke prirode ispitivanih materijala. Mjerenja su provedena deseti dan nakon sadrenja kada je vlažnost svih sadrenih imobilizacija bila manja od 15%.

Početni ispitni uzorci su dimenzija 100x100 mm² (slika 20).



Slika 20. Početni ispitni uzorci [12]

Tehnologija pripreme uzoraka definira poprečni presjek uzorka. Dok će tokarene metalne epruvete biti obično okruglog poprečnog presjeka, injekcijski prešane polimerne epruvete imati će pravokutni poprečni presjek. Epruvete za ispitivanje laminata u pravilu su pravokutnog poprečnog presjeka, a sam oblik i dimenzije epruvete ovise o vrsti materijala koji se ispituje. Za ispitivanje su korištene epruvete pravokutnog poprečnog presjeka širine 20 mm. Epruvete su izrezane iz pločica dimenzija $100 \times 100 \text{ mm}^2$. Debljina ispitnih tijela ovisi o broju slojeva i načinu slaganja laminata, a duljina je definirana dimenzijama početnih pločica. Nakon izrezivanja potrebno je pomičnim mjerilom izmjeriti točne dimenzije epruveta (slika 21).



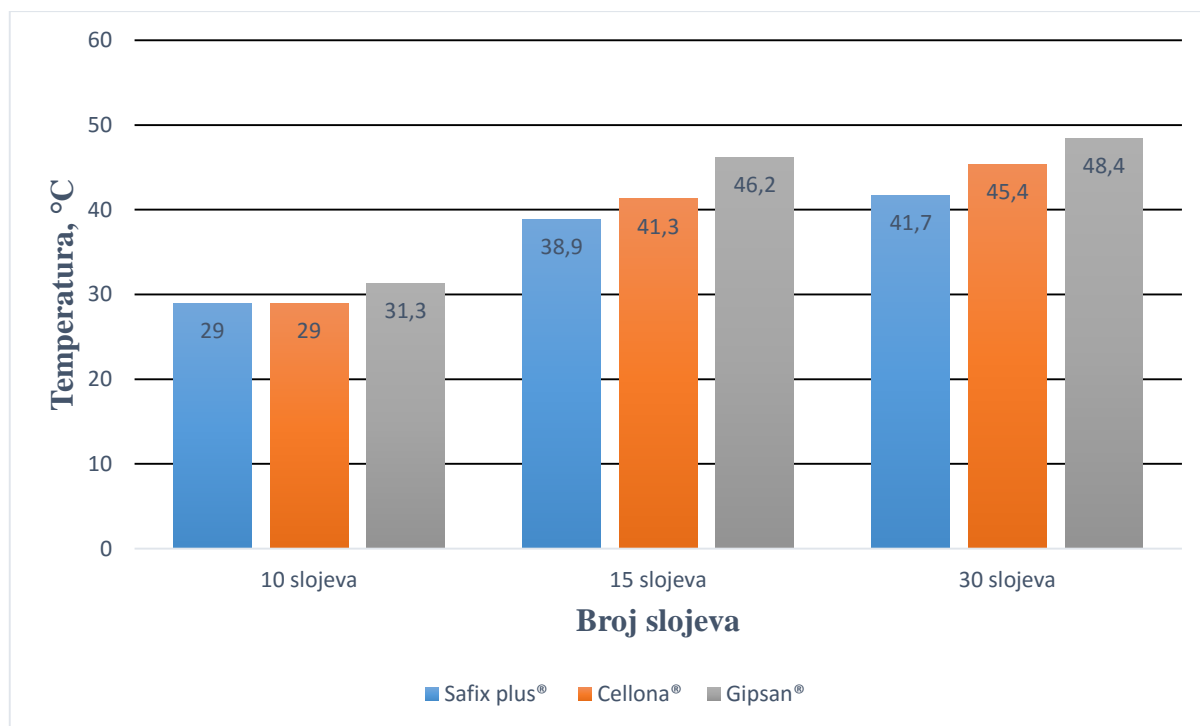
Slika 21. Mjerenje dimenzija ispitnih epruveta

6. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

6.1. Usporedba promjene temperatura sadrenja triju proizvođača

Pločice izrađene od 15 i 30 slojeva sadrene su u vodi temperature 34 °C, dok su pločice od 10 slojeva sadrene u vodi temperature 22 °C. Za nastanak opekline, osim maksimalne temperature, bitno je i vrijeme izloženosti kože povišenoj temperaturi.

Maksimalne temperature pločica tijekom sadrenja prikazane su na slici 22.

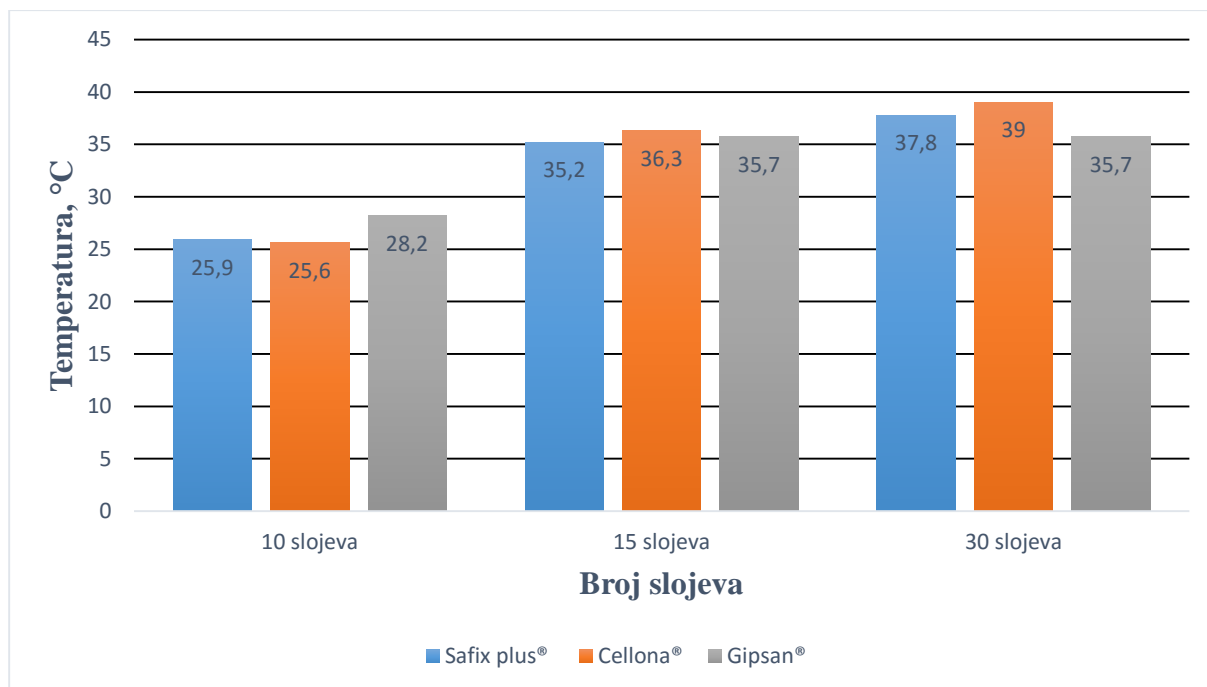


Slika 22. Maksimalne prosječne temperature pločica

Mjerenjem površinskih temperatura sadrenih pločica jasno je kako s povećanjem broja slojeva sadrenog zavoja raste i maksimalna temperatura svih ispitivanih materijala. U standardnim uvjetima sadrenja, temperatura vode i temperatura zraka iznosi 22 °C. U tim uvjetima svi ispitivani materijali imaju slične egzotermne reakcije, a porast temperature pločica znatno je niži od kritičnih 40 °C. Najvišu temperaturu dosegao je Gipsan (31,3 °C). Posve drugačiji rezultati izmjereni su kada je temperatura vode namakanja iznosila 34 °C, a pločice slagane u

15 i 30 slojeva. Tako pločice izrađene od 15 slojeva Gipsan sadrenog zavoja najbrže dostižu 40 °C (5,5 minuta) te se temperatura iznad ove granice zadržava kroz 10 minuta. Cellona nakon 6,50 minuta prelazi granicu od 40 °C i ostaje iznad tokom 6 minuta, dok Safix plus ne prelazi 40 °C.

Najviša izmjerena površinska temperatura pločica izrađenih od 15 slojeva je na pločicama izrađenih sadrenim zavojem Gipsan i ona iznosi 46,0 °C. Sadrene pločice zavoja Gipsan načinjene od 30 slojeva zavoja, već nakon tri minute dostižu temperaturu od 40 °C, te ostaje iznad sljedećih 12,5 minuta. Sadrena pločica Cellona, nakon 4,5 minute prelazi temperaturu od 40 °C, i zadržava ju kroz 15 minuta, a Safix plus nakon 10 min te se zadržava najkraće, samo 7 minuta. Temperature nakon 20 minuta od sadrenja prikazane su na slici 23.



Slika 23. Temperature nakon 20 minuta od sadrenja

Svaka temperatura viša od 40 °C potencijalno je opasna, izaziva nelagodu, a kada dosegne 47 °C javlja se eritem, peckanje, ali i jaka bol [11]. Opasnosti su veće ako je prisutan natisak sadre na kožu ili je povišena temperatura konstantna kroz duži vremenski period. Promatramo li naše dijagrame možemo uočiti veliku razliku u oslobođenoj toplini između sadrenih pločica gipsanih u idealnim uvjetima i sadrenih pločica gipsanih pri povišenoj temperature vode i

sadrenjem u veći broj slojeva. Gipsan je i u idealnim uvjetima postigao višu temperaturu od Safix plus i Cellone, što je posebno došlo do izražaja kada su se uvjeti promijenili. Iako je velika razlika u temperaturama, temperaturne krivulje su približno istog oblika za sva tri sadrena zavoja u različitim uvjetima. Pločice proizvođača Safix plus u usporedbi sa pločicama od druga dva proizvođača pokazale su najmanji porast temperature, tj. ona niti na jednoj pločici nije prelazila 41,7 °C. Najviše i potencijalno opasne temperature izmjerene su na pločicama sadrenog zavoja Gipsan, izrađenim od 30 slojeva zavoja, i sadrenog u vodi temperature 34 °C.

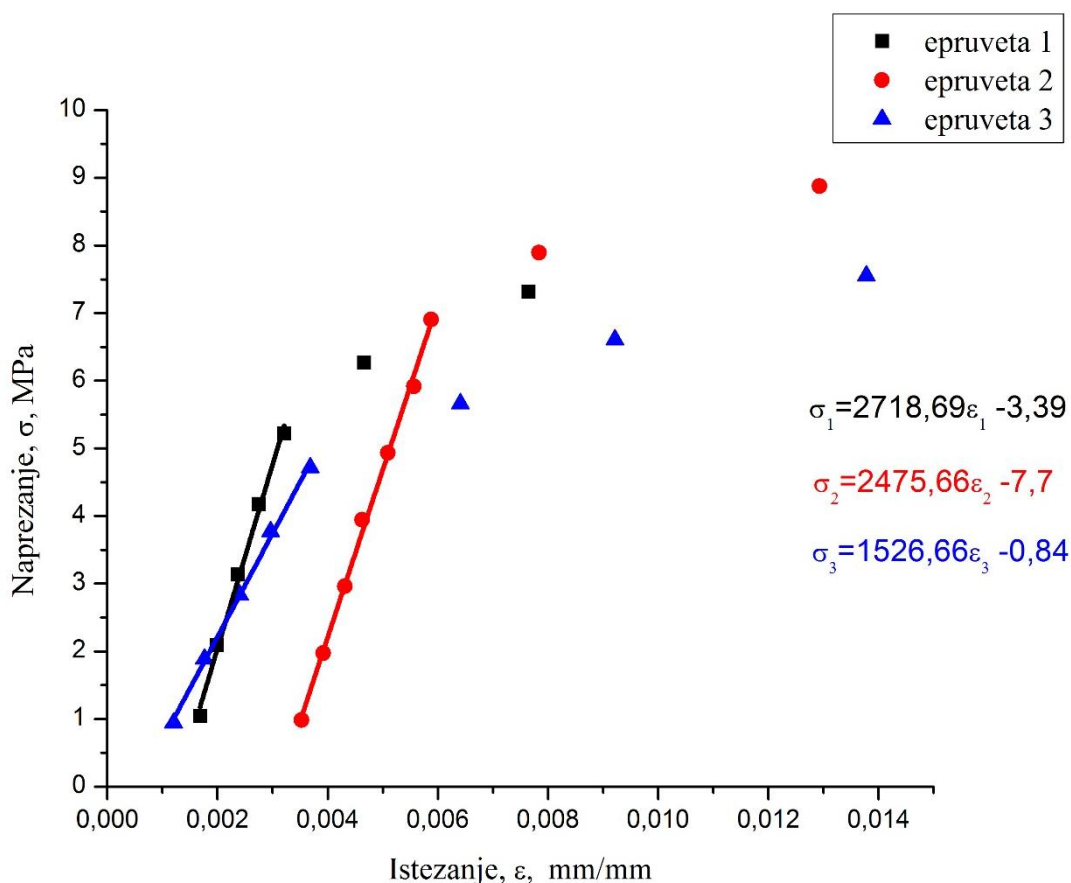
Nedostatak ovog ispitivanja su mjerenja površine sadrenih pripravaka u laboratorijskim uvjetima. Poznato je da unutarnja strana sadrene imobilizacije ima za oko 2 °C više vrijednosti temperature, nego se mjeri na površini, kod iste razine egzotermne reakcije [11]. Pored toga korištene su pločice veličine 10x10 cm, a u kliničkim uvjetima sadrena imobilizacija je cirkularna, veće je mase pa je za očekivati i više maksimalne temperature. Dobiveni rezultati se mogu koristiti samo kao usporedba tri proizvoda, u tri različite debljine, i dvije temperature sadrenja. Jedine objektivne vrijednosti temperatura, kao posljedice egzotermne reakcije mogu se dobiti mjerenjem temperature na površini kože ispod sadrene imobilizacije u realnim uvjetima.

6.2. Savojna svojstva

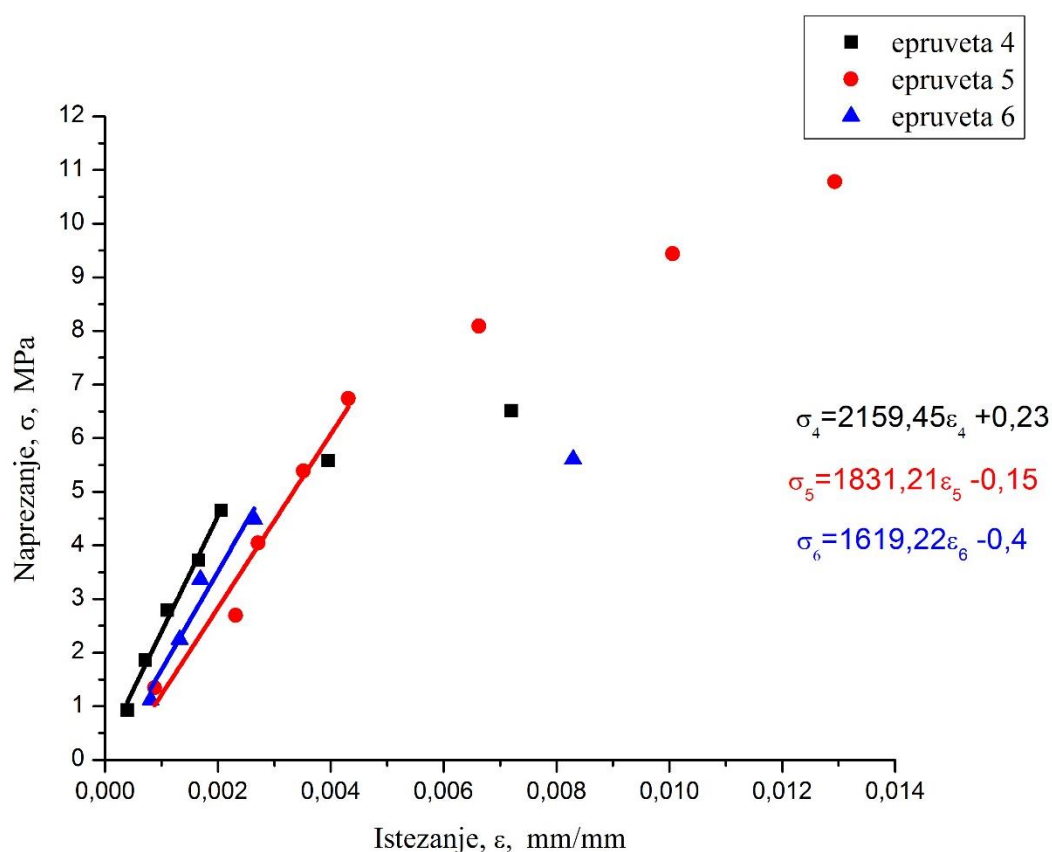
6.2.1. Ispitivanje sadrenih pločica izrađenih od 10 slojeva sadrenog zavoja pri temperaturi vode od 22 °C

6.2.1.1. Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka

Epruvete izrađene od 10 slojeva Safix plus sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 22 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 24 i 25 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednadžbe pravaca za približno linearno područje. Jednadžba pravca bez odsjeka na ordinati Hookeov je zakon, a koeficijent smjera pravca jednak je modulu elastičnosti. Radi preglednosti, rezultati za isti laminat su prikazani u dva dijagrama.



Slika 24. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva



Slika 25. Dijagram naprežanje-istežanje Safix plus epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva

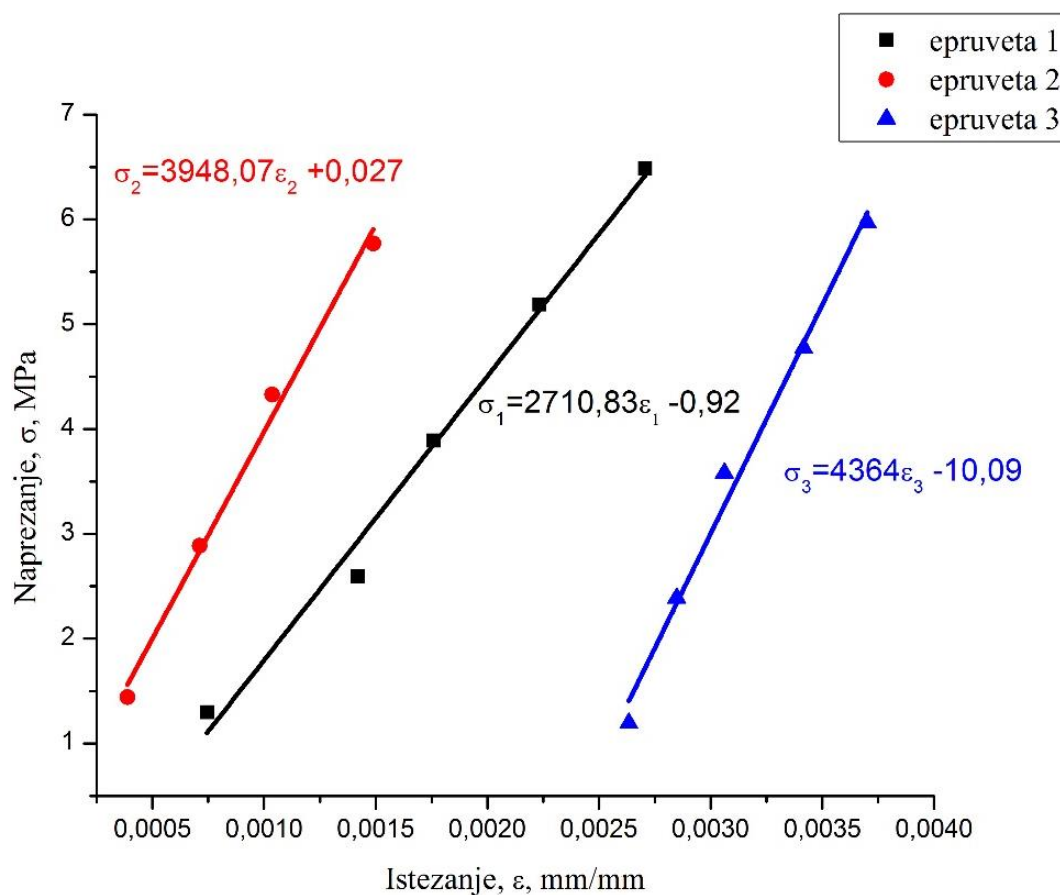
Pomoću dijagrama naprežanje-istežanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 2.

Tablica 2. Savojna svojstva Safix plus epruveta izrađenih od 10 slojeva

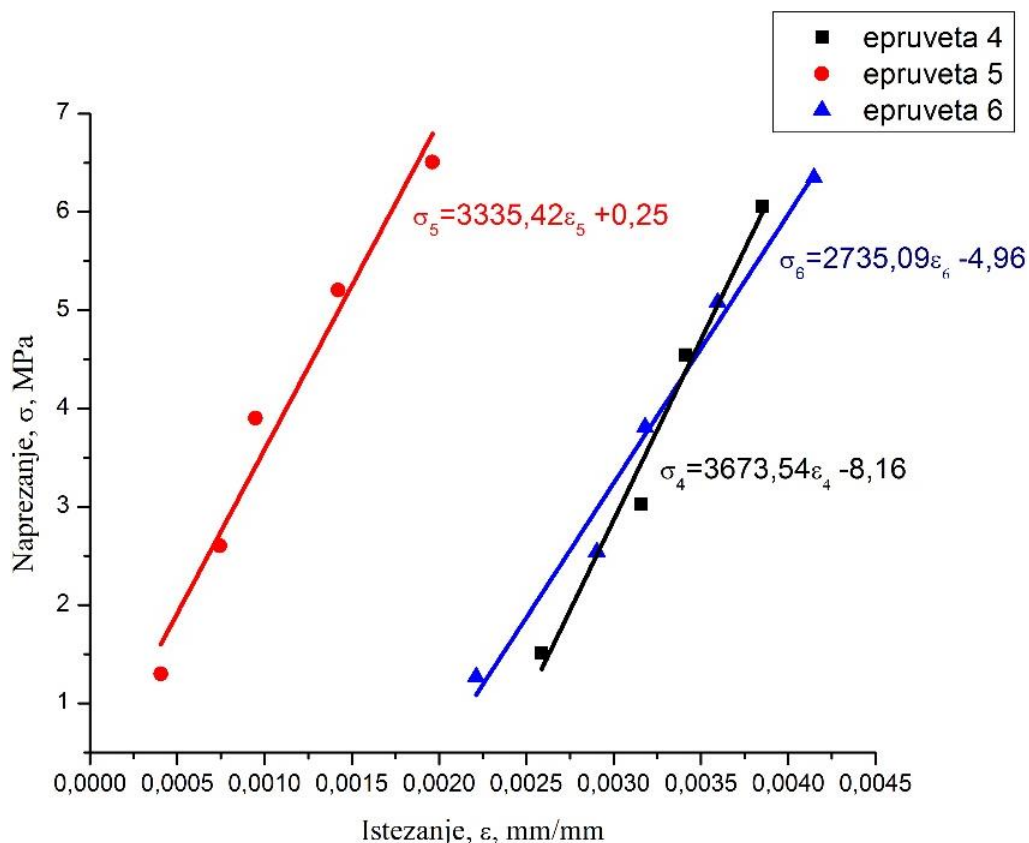
Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	11,18	2718,69
2.	8,18	2475,66
3.	11,31	1526,66
4.	13,48	2159,45
5.	7,25	1831,21
6.	7,25	1619,22
Srednja vrijednost	9,78	2055,15
Standardna devijacija	2,58	479,06

6.2.1.2. Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija

Epruvete izrađene od 10 slojeva Cellona sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 22 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 26 i 27 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednačbe pravaca.



Slika 26. Dijagram naprezanje-istežanje Cellona epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva



Slika 27. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva

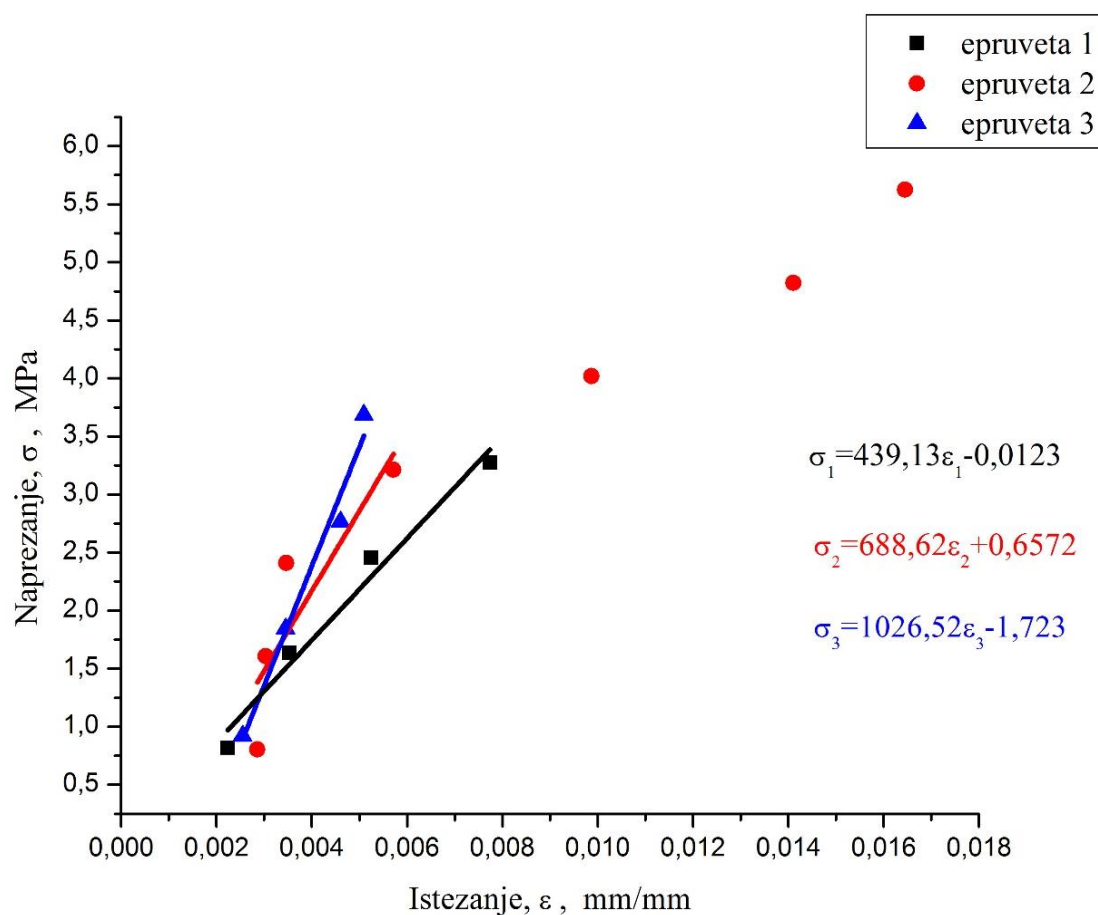
Pomoću dijagrama naprezanje-istezanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 3.

Tablica 3. Savojna svojstva Cellona epruveta izrađenih od 10 slojeva

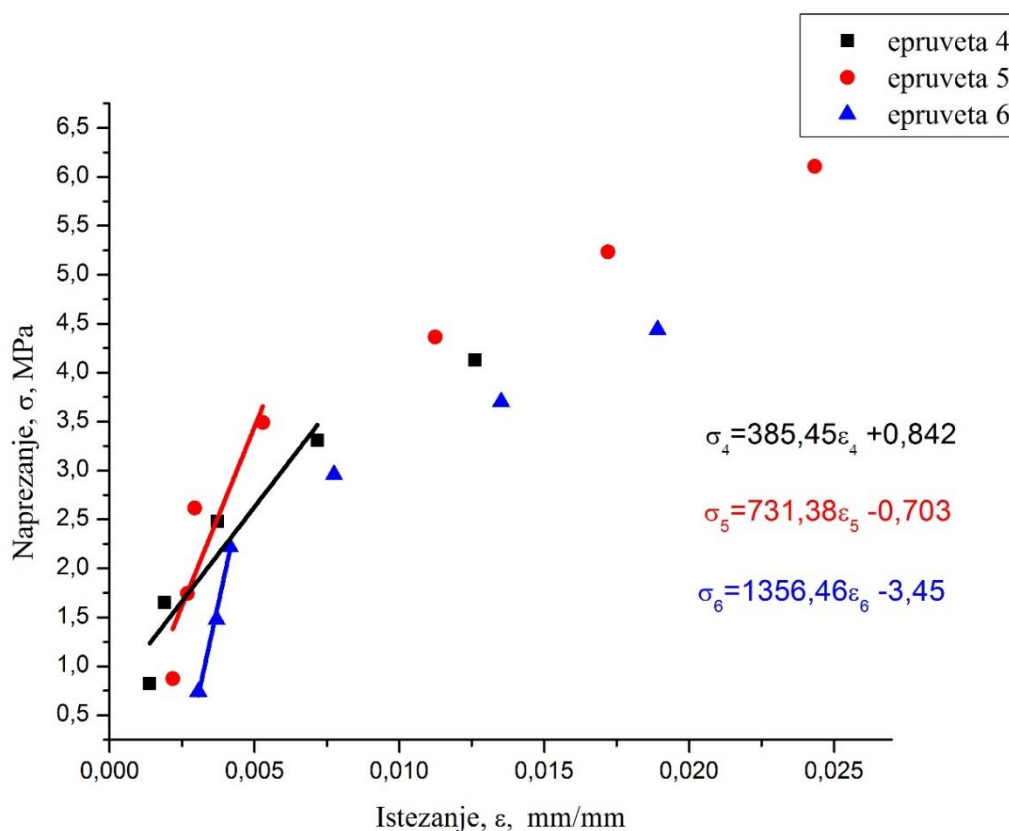
Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	8,65	2710,83
2.	9,62	3948,07
3.	7,56	4364,00
4.	10,10	3673,54
5.	8,67	3335,42
6.	7,62	2735,09
Srednja vrijednost	8,70	3461,16
Standardna devijacija	1,03	663,82

6.2.1.3. Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska

Epruvete izrađene od 10 slojeva Gipsan sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 22 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 28 i 29 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednadžbe pravaca.



Slika 28. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 10 slojeva



Slika 29. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 10 slojeva

Pomoću dijagrama naprezanje-istezanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 4.

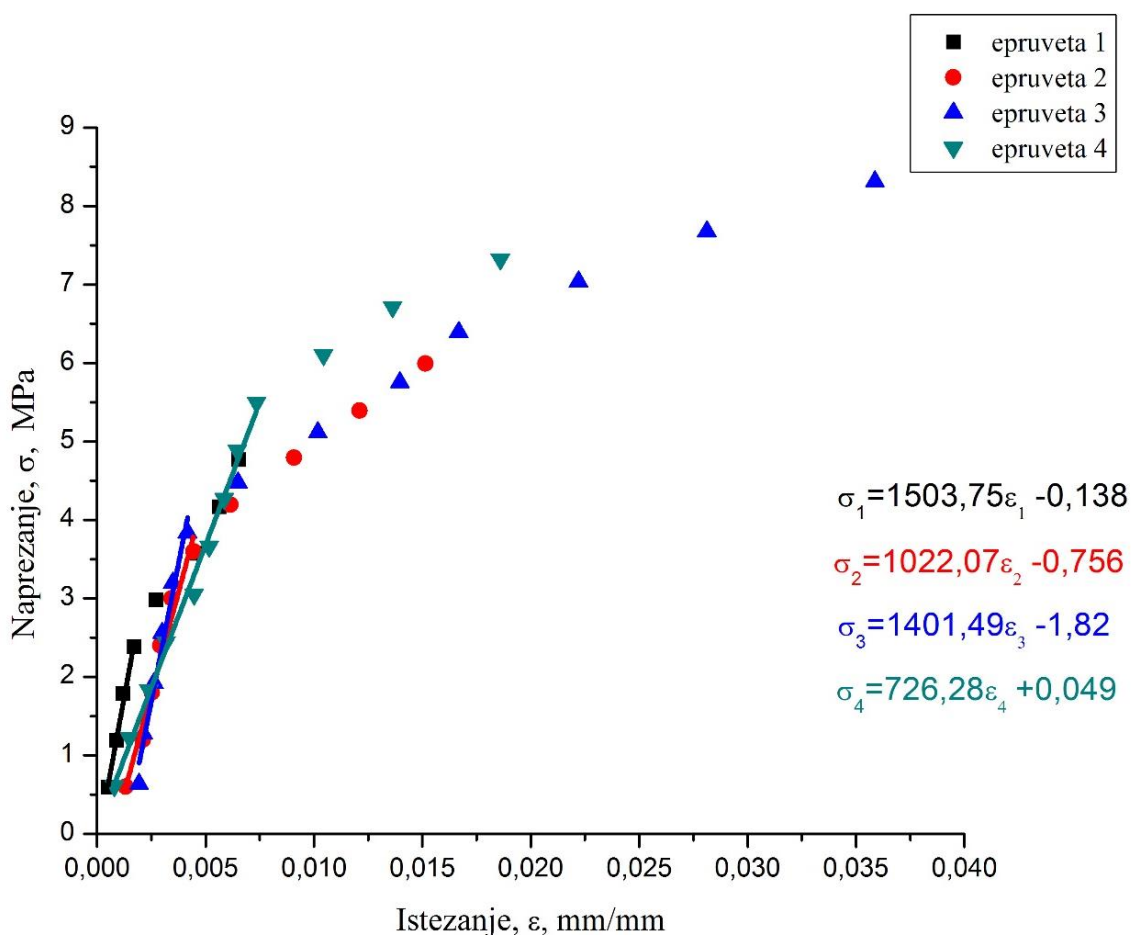
Tablica 4. Savojna svojstva Gipsan epruveta izrađenih od 10 slojeva

Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	6,27	439,13
2.	7,77	688,62
3.	8,30	1026,52
4.	7,44	385,45
5.	7,85	731,38
6.	6,91	1356,46
Srednja vrijednost	7,42	771,26
Standardna devijacija	0,73	335,46

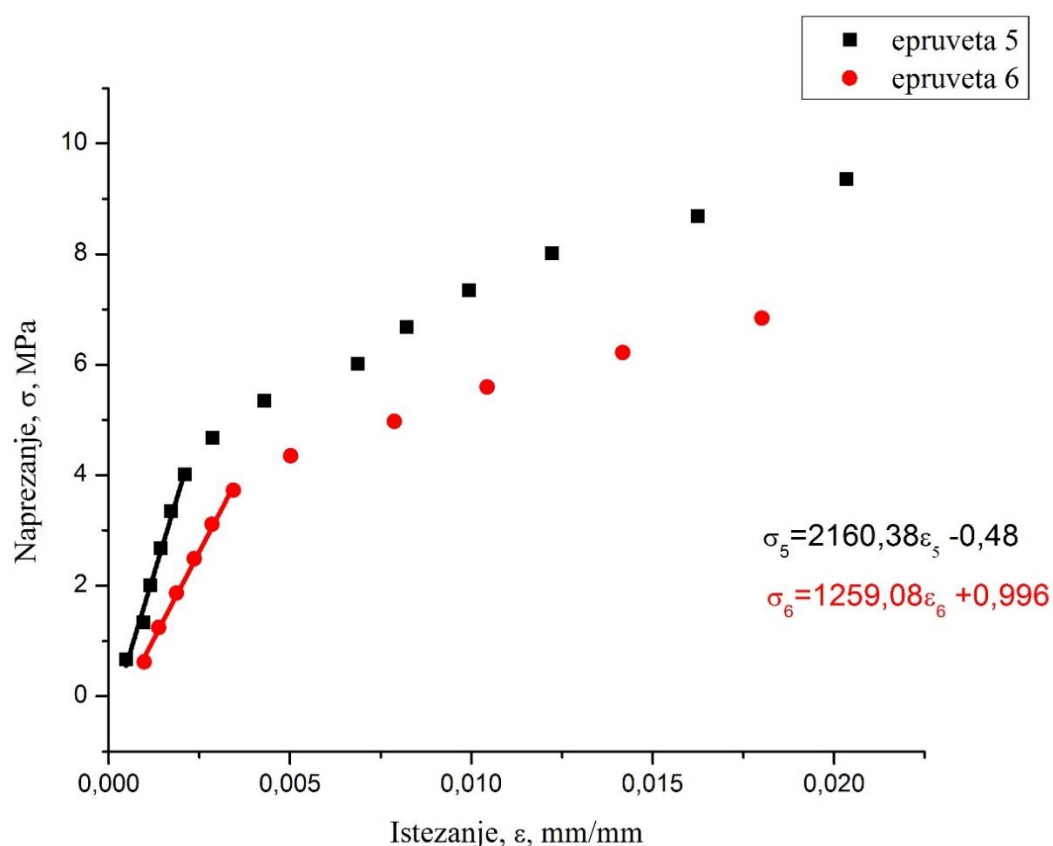
6.2.2. Ispitivanje sadrenih pločica izrađenih od 15 slojeva sadrenog zavoja pri temperaturi vode od 34 °C

6.2.2.1. Gipsani zavoj Safix plus® proizvođača Hartmann, Njemačka

Epruvete izrađene od 15 slojeva Safix plus sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 34 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 30 i 31 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednadžbe pravaca.



Slika 30. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (1, 2, 3 i 4) slaganih u 15 slojeva



Slika 31. Dijagram naprezanje-istezanje Safix plus epruveta (5 i 6) slaganih u 15 slojeva

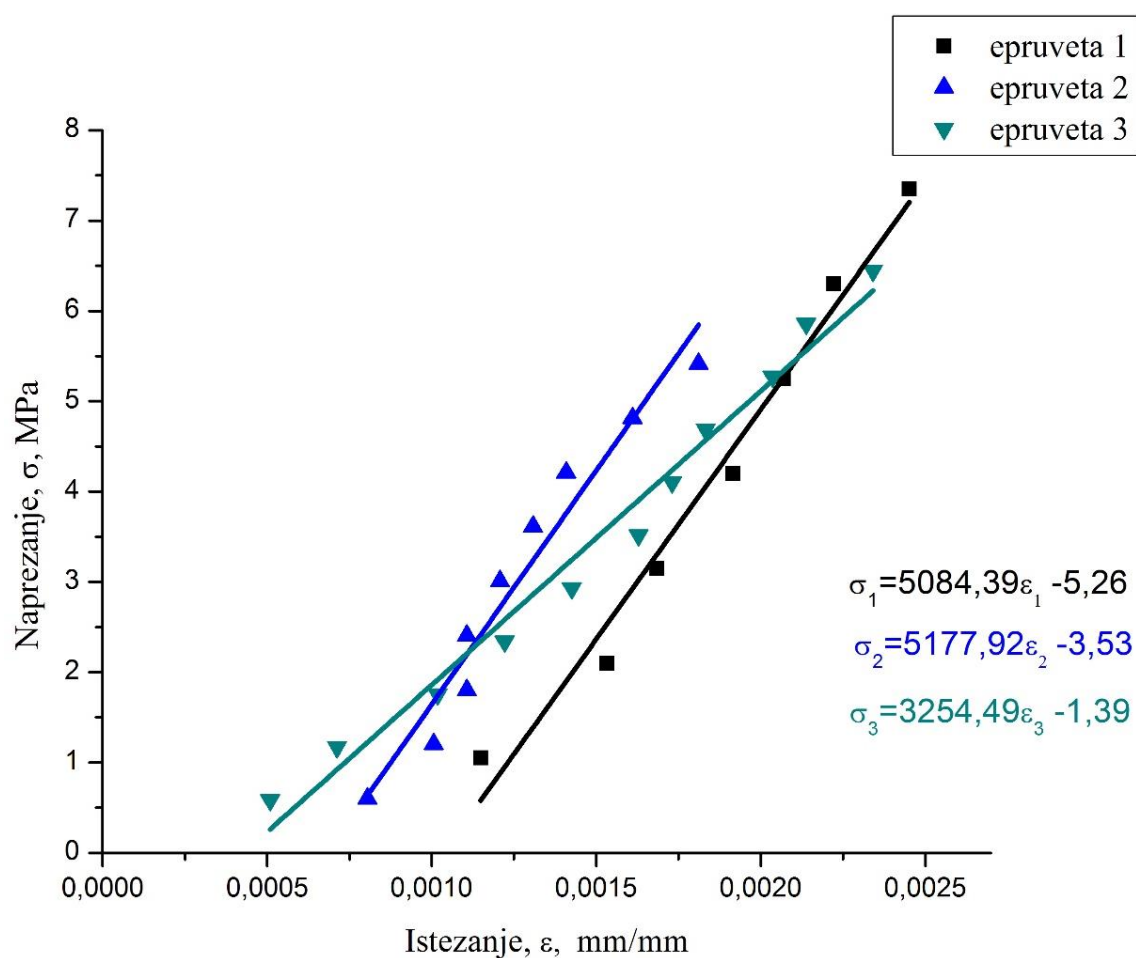
Pomoću dijagrama naprezanje-istezanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 5.

Tablica 5. Savojna svojstva Safix plus epruveta izrađenih od 15 slojeva

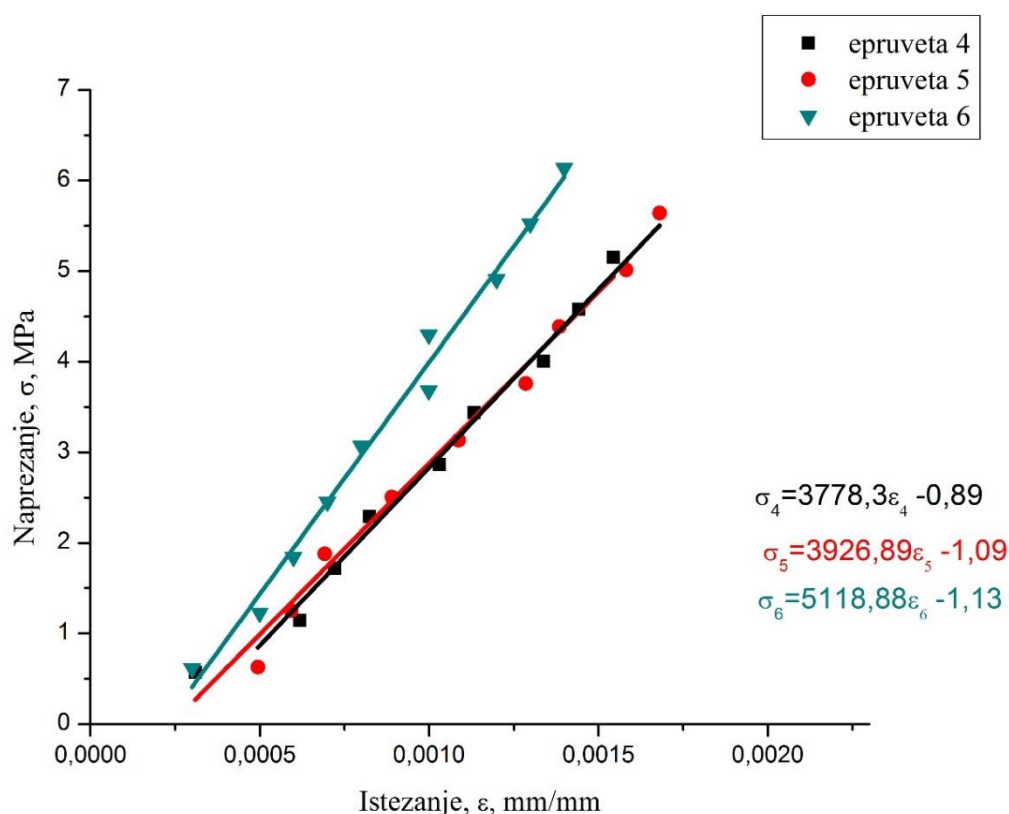
Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	8,54	1503,75
2.	7,79	1022,07
3.	7,89	1401,49
4.	9,77	726,28
5.	9,13	2160,38
6.	8,70	1259,08
Srednja vrijednost	8,64	1345,51
Standardna devijacija	0,75	487,38

6.2.2.2. Gipsani zavoj Cellona® proizvođača Lohmann Rauscher, Austrija

Epruvete izrađene od 15 slojeva Cellona sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 34 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 32 i 33 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednačbe pravaca.



Slika 32. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 15 slojeva



Slika 33. Dijagram naprezanje-istezanje Cellona epruveta (4, 5 i 6) slaganih u 15 slojeva

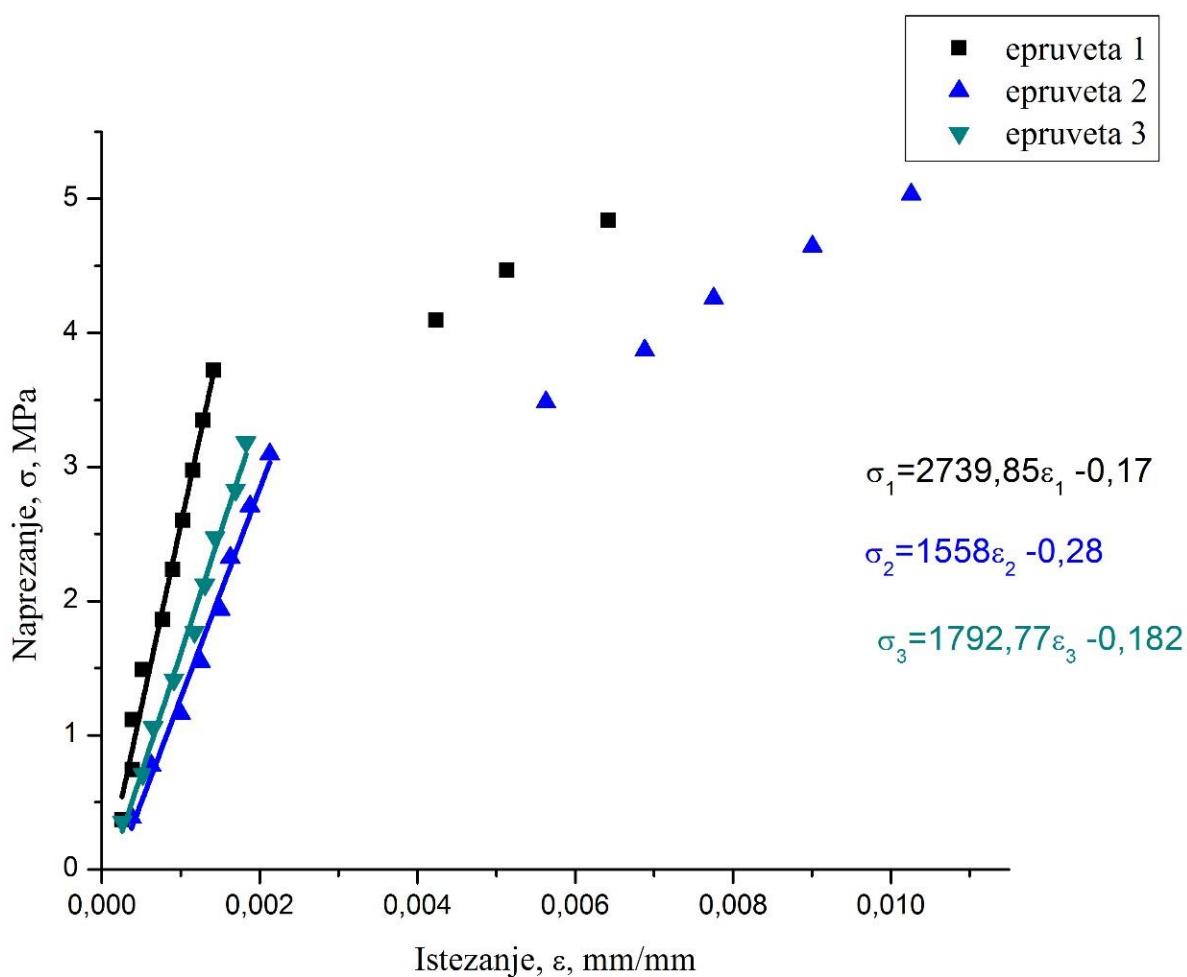
Pomoću dijagrama naprezanje-istezanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 6.

Tablica 6. Savojna svojstva Cellona epruveta izrađenih od 15 slojeva

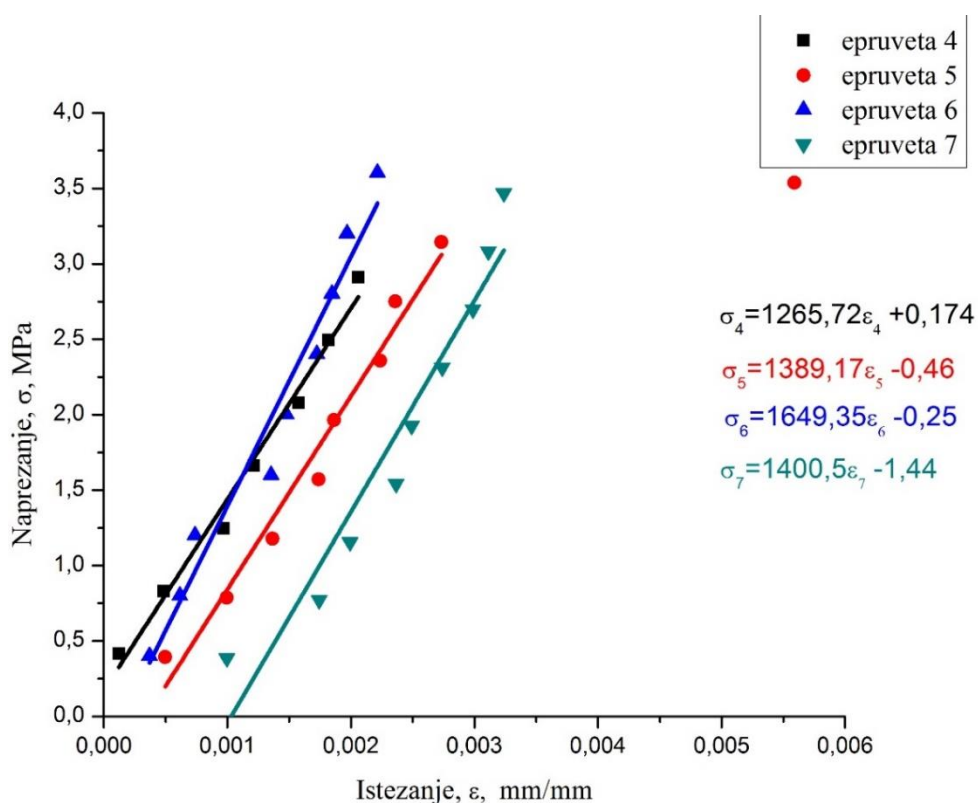
Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	16,10	5084,39
2.	13,24	5177,92
3.	14,25	3254,49
4.	9,16	3778,30
5.	8,77	3926,89
6.	9,00	5118,88
Srednja vrijednost	11,75	4390,15
Standardna devijacija	3,18	838,13

6.2.2.3. Gipsani zavoj Gipsan® proizvođača Ivo Lola Ribar, Hrvatska

Epruvete izrađene od 15 slojeva Gipsan sadrenog zavoja pri temperaturi sadrenja od 34 °C podvrgnute su ispitivanju na savijanje u tri točke. Na osnovi podataka dobivenih na kidalici i dimenzija epruvete na slikama 32 i 33 prikazani su dijagrami naprezanje-istezanje odabranih epruveta te pripadajuće jednadžbe pravaca.



Slika 34. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (1, 2 i 3) slaganih u 15 slojeva



Slika 35. Dijagram naprezanje-istezanje Gipsan epruveta (4, 5, 6 i 7) slaganih u 15 slojeva

Pomoću dijagrama naprezanje-istezanje utvrđeno je ponašanje materijala prilikom djelovanja savojnog opterećenja te je određen savojni modul elastičnosti. Uz pomoć maksimalne sile izračunata je i savojna čvrstoća svake epruvete. Navedena savojna svojstva prikazana su u tablici 7.

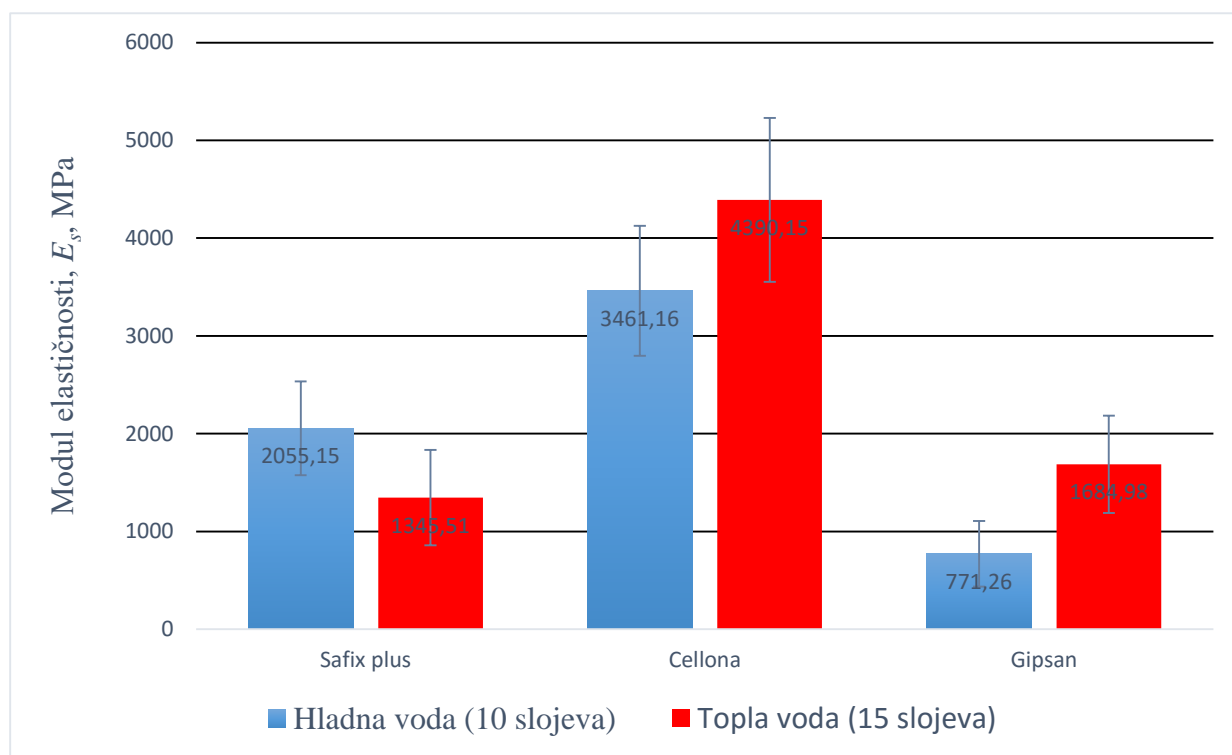
Tablica 7. Savojna svojstva Gipsan epruveta izrađenih od 15 slojeva

Redni broj epruvete	R_{ms} , MPa	E_s , MPa
1.	7,69	2739,85
2.	7,74	1558,00
3.	7,19	1792,77
4.	7,90	1265,72
5.	7,47	1389,17
6.	8,01	1649,35
7.	7,83	1400,00
Srednja vrijednost	7,69	1684,98
Standardna devijacija	0,28	497,70

6.3. Usporedba proizvođača prema savojnim svojstvima

6.3.1. Usporedba proizvođača prema modulu elastičnosti

Usporedba savojnog modula elastičnosti E_s izraženog u MPa, odnosno modula pri savojnom opterećenju, s obzirom na temperaturu vode sadrenja za tri različita proizvođača prikazana je na slici 36.

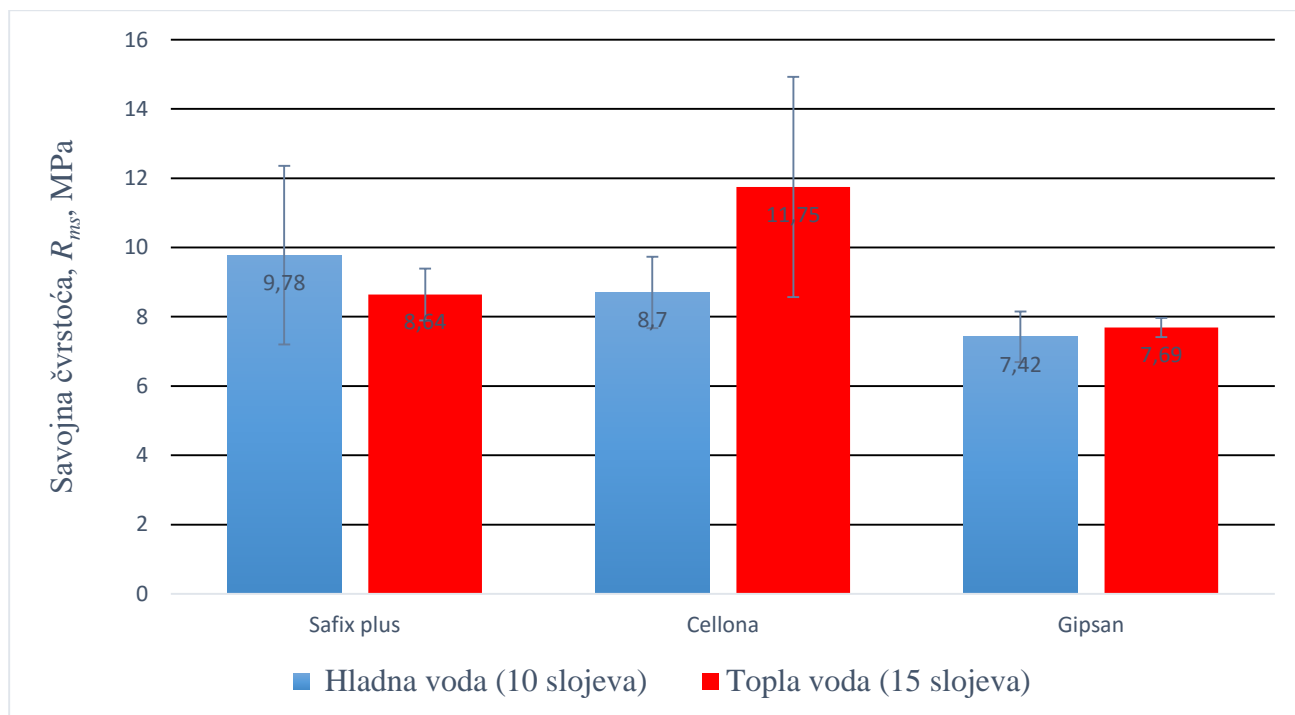


Slika 36. Usporedba savojnog modula elastičnosti E_s s obzirom na temperaturu vode

Sadreni zavoj proizvođača Cellona pokazuje najveću krutost, odnosno modul elastičnosti, bilo da se koristi voda temperature 22 °C ili 34 °C. Vrijednosti modula elastičnosti veće su kada temperatura vode namakanja iznosi 34 °C i zavoji se slažu u 15 slojeva kod proizvođača Cellona i Gipsan, dok Safix plus zavoji postižu više vrijednosti modula elastičnosti sadrenjem u hladnijoj vodi i korištenjem 10 slojeva sadrenog zavoja.

6.3.2. Usporedba proizvođača prema savojnoj čvrstoći

Na slici 37. prikazane su vrijednosti savojne čvrstoće R_{ms} izražene u MPa triju različitih proizvođača gipsanih zavoja u ovisnosti o temperaturi vode sadrenja.



Slika 37. Usporedba savojne čvrstoće R_{ms} s obzirom na temperaturu vode

Sadrenje u toplijoj vodi pozitivno utječe na savojnu čvrstoću kod pločica izrađenih gipsanim zavojem Cellona i Gipsan, dok pločice izrađene gipsanim zavojem Safix plus postižu više vrijednosti sadrenjem u hladnijoj vodi. Najviše vrijednosti savojne čvrstoće postigle su pločice izrađene gipsanim zavojem Cellona i to sadrene u vodi temperature 34 °C. Gipsan pločice postižu najniže vrijednosti savojne čvrstoće u svim segmentima.

7. ZAKLJUČAK

Poznavanje egzotermne reakcije i mehaničkih svojstava sadrenih zavoja značajno utječe na sam tijek cijeljenja prijeloma . Pri očvršćivanju gipsa dolazi do porasta temperature gipsane imobilizacije. Temperature veće od 40 °C ukoliko se zadrže dulje vrijeme mogu izazvati opekline.

Mjerenjem fizikalnih i mehaničkih svojstava gipsanih zavoja triju različitih proizvođača doneseni su zaključci i preporuke u cilju postizanja najboljih svojstava gipsane imobilizacije.

Sve tri vrste sadrenih zavoja koji se koriste u Hrvatskoj u standardnim uvjetima sadrenja imaju nisku razinu egzotermne reakcije, a prosječne površinske temperature pločica su niske, te nema potencijalne opasnosti od opekline. Ako se sadrenje obavlja u vodi temperature 34 °C, a koristi se 15-30 slojeva gipsanog zavoja, razina egzotermne reakcije je takva da su postignute srednje vrijednosti temperatura od 40 °C - 49 °C. Sadreni zavoj Gipsan je razvijao najviše temperature, a neke pločice su bile ugrijane i do 50 °C. Razina egzotermnih reakcija ispitivanih sadrenih zavoja međusobno se razlikuju u svim ispitivanim uvjetima, posebno kod sadrenja vodom temperature 34 °C.

Pločice izrađene sadrenim zavojem Cellona postižu najbolja mehanička svojstva u svim uvjetima ispitivanja, dok pločice izrađene sadrenim zavojem Gipsan postižu najlošija svojstva.

U cilju postizanja najboljih mehaničkih svojstava gipsane imobilizacije u standardnim uvjetima sadrenja preporuka je koristiti sadrene zavoje Cellona. Ukoliko se imobilizacija ne odvija u standardnim uvjetima te postoji potreba slaganja imobilizacije u veći broj slojeva tada je preporuka koristiti Safix plus sadrene zavoje jer pokazuju najmanji porast temperature prilikom egzotermnog očvršćivanja.

LITERATURA

- [1] Chudnofsky, C.R. Byers, S. Roberts, J.R. Hedges, J.R, Chanmugam, A.S.: Clinical Procedures in Emergency Medicine. 4th ed., Philadelphia, 2004.
- [2] Marić, G.: Autorizira predavanja iz kolegija „Materijali II“, FSB, Zagreb, 2013.
- [3] <http://www.dinf.ne.jp/doc/english/intl/z15/z15005s3/z1500502.html>, pristupljeno 18.2.2016.
- [4] Tintinalli, Judith, E.: A Comprehensive Study Guide (Emergency Medicine Tintinalli), 2010. str. 1374.–1386., New York: McGraw-Hill Companies.
- [5] Williamson, C. Scholz, J.R.: Time-temperature relationships in thermal blister formation, J. Invest Dermatol, 1949.
- [6] Diack, A.W. Schultz, R.D. Nohlgren, J.E.: Technique for quantifying low temperature burns, 1964.
- [7] Lavalette, R. Pope, M.H. Dickstein, H.: Setting temperatures of plaster casts: the influence of technical variables, J. Bone Joint Surg., 1982.
- [8] Feller, I. James, M.C. Burn epidemiology: focus on youngsters and the aged. J Burn Care Rehabil. 1982, 285–289.
- [9] Vieira, G.C. Barbosa, R.I. Marcolino, A.M. Shimano, A.C. Elui, V.M. Fonseca, M.C.: Influence of the number of layers of paris bandage plasters on the mechanical properties specimens used on orthopedic splints, 2011.
- [10] Callahan, D.J. Carney, D.J. Daddario, N. Walter, N.E.: The effect of hydration water temperature on orthopedic plaster cast strength., 1986.
- [11] Ahmed, S.S.: Carmichael KD Plaster and synthetic cast temperatures in a clinical setting: an in vivo study, Orthopedics, 2011.
- [12] Antabak, A. Brajčinović, M. Bradić, L. Barišić, B. Andabak, M. Halužan, D. Fuchs, N. Haramina, T. Ćurković, S. Luetić, T. Šiško, J. Prlić, I.: Egzotermna reakcija sadrenja, analiza tri vrste sadrenih zavoja, Zagreb, 2015.
- [13] Vrkljan, D. Klanfar, M.: Tehnologija nemetalnih mineralnih sirovina, Zagreb, 2010.
- [14] <http://store.p212121.com/Calcium-sulfate-dihydrate/> , pristupljeno 18.2.2016.
- [15] <http://www.quickmedical.com/bsn-medical-specialist-quick-setting-plaster-bandages.html> , pristupljeno 18.2.2016.

- [16] <http://slidegur.com/doc/1156467/aplikacija-gipsanih-zavoja> , pristupljeno 18.2.2016.
- [17] Boyd, A.S.: Principles of Casting and Splinting, Am Fam Physician, 2009,16-22.
- [18] Vieira, G.C. Barbosa, R. I. Marcolino, A. Shimano, E. Elui, V. Fonseca, M.: Influence of the number of layers of paris bandage plasters on the mechanical properties specimens used on orthopedic splints, Fisioter, 2011.
- [19] <http://www.lohmann-rauscher.us/us/products/casting-materials/plaster-of-paris/cellona-plaster-of-paris-bandages.html> , pristupljeno 17.2.2016.
- [20] Parmar, A.J. Tyagi, S.K. Dabas, V.: Assessment of the physical and mechanical properties of plaster of Paris bandage cast used as a splinting and casting materials, Veterinary World , 2014.
- [21] Antabak, A. Brajčinović, M. Bradić, L. Barišić, B. Andabak, M. Halužan, D. Fuchs, N. Haramina, T. Ćurković, S. Luetić, T. Šiško, J. Prlić, I.: Fizikalna svojstva sadrenih zavoja, Zagreb, 2015.